Excellence scientifique • Protection et conservation des ressources • Bénéfices aux Canadiens
Scientific Excellence • Resource Protection & Conservation • Benefits for Canadians

Sédimentation et dispersion des déblais de dragage en mer et effets sur la moule bleue *(Mytilus edulis)* en élevage dans la Baie des Chaleurs

P. Bergeron, M. Fréchette, L. Pagé,
Y. Lavergne et G. Walsh

Ministère des Pêches et des Océans
Gare Maritime Champlain C.P. 15 500
901, Cap Diamant Québec, Qué.
G1K 7Y7

Septembre 1990

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques
No 1746

Pêches et Océans Fisheries and Oceans

Canada

91-00043/

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annual des publications scientifiques et techniques du Ministère.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

Numbers 1–456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457–714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715–924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques
no 1746

Septembre 1990

Sédimentation et dispersion des déblais de dragage en mer et effets sur la moule bleue (Mytilus edulis) en élevage dans la baie des Chaleurs

par

P. Bergeron[1], M. Fréchette, L. Pagé,
Y. Lavergne et G. Walsh

Ministère des Pêches et des Océans

Gare Maritime Champlain
C.P. 15500
901 Cap Diamant
Québec (Québec)
G1K 7Y7

Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000
850 Route de la Mer
Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

---

[1] BIOREX, 969, Route de l'Église, Bureau 250, Sainte-Foy (Québec) G1V 3V4

Ministère des Approvisionnements et Services Canada 1990
No de catalogue Fs 97-6/1746F ISSN 0706-6570

On devra référer comme suit à cette publication:

Bergeron, P., M. Fréchette, L. Pagé, Y. Lavergne et G. Walsh. 1990. Sédimentation et dispersion des déblais de dragage en mer et effets sur la moule bleue (Mytilus edulis) en élevage dans la baie des Chaleurs. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. no. 1746: viii + 59 p.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
RÉSUME/ABSTRACT	vii
PRÉFACE	viii
INTRODUCTION	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES	1
Activités de dragage	1
Mesure de la turbidité et de la dispersion des déblais	3
Océanographie côtière	3
Suivi des moules d'élevage en suspension	5
Site de Carleton	5
Taux de croissance	5
Mortalité	5
Taux de filtration	5
Site de Saint-Godefroi	7
Taux de croissance	7
Mortalité	7
Rendement en chair	7
Dénombrement des perles	7
RÉSULTATS	7
Site de Carleton	7
Granulométrie des sédiments	7
Marées et courants	7
Stratification de la masse d'eau	11
Transparence de l'eau avant le dragage	11
Effets physiques des rejets	11
Turbidité immédiatement après le rejet	11
Dispersion des sédiments	11
Resuspension des sédiments du fond	11
Transparence de l'eau aux sites d'immersion de moules	14
Effets sur les moules d'élevage	14
Taux de croissance	14
Mortalité	14
Taux de filtration	14
Site de Saint-Godefroi	17

	Page
Granulométrie des sédiments	17
Marées et courants	17
Stratification de la masse d'eau	17
Transparence de l'eau avant le dragage	20
Effets physiques des rejets	20
Turbidité immédiatement après le rejet	20
Dispersion des sédiments	20
Resuspension des sédiments du fond	20
Transparence de l'eau aux sites d'immersion de moules	21
Effets sur les moules d'élevage	21
Taux de croissance	21
Mortalité	21
Rendement en chair	21
Présence de perles	21
DISCUSSION	21
Sédimentation et dispersion des déblais de dragage	21
Effet des déversements sur la croissance et la mortalité	22
Effet des déversements sur le taux de filtration des moules	23
CONCLUSION	24
REMERCIEMENTS	24
RÉFÉRENCES	24
ANNEXE 1	34
ANNEXE 2	41
ANNEXE 3	50

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1.	Vitesses moyennes des courants calculées sur un cycle complet de marée pour les 7 jours pendant lesquels les déversements ont été effectués au large de Carleton	26
Tableau 2.	Mortalité des moules d'élevage suspendues à trois sites au cours des déversements de déblais de dragage	27
Tableau 3.	Taux de filtration moyen calculé à partir des mesures effectuées à 10 minutes d'intervalle sur deux groupes de moules lors des 5 sorties en mer à Carleton	28
Tableau 4.	Analyse de variance des taux de filtration et test des différences entre la sortie témoin (13 juin) et les autres sorties prises deux à deux	29
Tableau 5.	Régression multiple polynomiale entre le taux de filtration d'une part et la fluorescence environnante et le temps écoulé depuis un déversement donné d'autre part	30
Tableau 6.	Vitesses moyennes des courants calculées sur un cycle complet de marée pour les 12 jours pendant lesquels les déversements ont été effectués au large de Saint-Godefroi	31
Tableau 7.	Taux de croissance instantané pour les moules d'élevage de Carleton âgées de 1 et 2 ans selon la distance qui les sépare du site de rejet	32
Tableau 8.	Mortalité moyenne des moules d'élevage âgées de 1 et 2 ans au cours des déversements à Saint-Godefroi	33

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.	Localisation des filières dans la baie Tracadigache, au site de déversement et dans la baie Cascapédia	2
Figure 2.	Localisation des sites de déversement et d'ancrage des six filières flottantes au large de Saint-Godefroi	4
Figure 3.	Schéma d'une filière flottante pour le suivi du déversement des déblais de dragage à Carleton	6
Figure 4.	Disposition des cages (ou filets) et des sections de boudins sur les cordes-échantillons à Saint-Godefroi	8
Figure 5.	Granulométrie des sédiments recueillis lors du dragage à Carleton et à Saint-Godefroi	9
Figure 6.	Marée, courants longitudinaux et latéraux, salinité et température à chaque heure à 10 mètres de profondeur au large de Carleton	10
Figure 7.	Variations bathymétriques de la transparence minimale détectée sur les profils effectués simultanément aux déversements à Carleton et à Saint-Godefroi	12
Figure 8.	Réduction maximale de la transparence exprimée par rapport aux valeurs pré-dragage en fonction de la distance séparant le site d'échantillonnage et le site de rejet	13
Figure 9.	Variation du taux de croissance instantané en fonction de la longueur initiale des moules à Carleton pour les récoltes effectuées 30 jours et 90 jours après le début des déversements	15
Figure 10.	Moyenne des taux de filtration pour chaque répliquat en fonction de la fluorescence environnante	16
Figure 11.	Composantes longitudinale et latérale de la vitesse des courants enregistrés à 8,5 m entre le 12 et le 27 juillet au large de Saint-Godefroi	18
Figure 12.	Composantes longitudinale et latérale de la vitesse des courants enregistrés à 18 m entre le 27 juillet et le 10 août au large de Saint-Godefroi	19

RÉSUMÉ

Bergeron, P., M. Fréchette, L. Pagé, Y. Lavergne et G. Walsh. 1990. Sédimentation et dispersion des déblais de dragage en mer et effets sur la moule bleue (Mytilus edulis) en élevage dans la baie des Chaleurs. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. no. 1746: viii + 59 p.

Un volume total de 1 903 et 3 660 m^3 de sédiments a été dragué aux abords des quais de Carleton et Saint-Godefroi respectivement. Ces matériaux ont été déversés en eaux libres à environ 2,5 milles marins de la côte et leur dispersion a été suivie sur une distance de 1 mille marin en périphérie du site de déversement à l'aide d'une échosondeuse et d'un turbidimètre. La granulométrie des sédiments, la vitesse et la direction des courants ainsi que la transparence de l'eau ont été utilisées pour estimer la forme et la trajectoire du cône de dispersion. Une réduction maximale de la transparence de 47,2 % des valeurs naturelles enregistrées avant les travaux de dragage a été notée à moins de 50 m du site de déversement. La portion de sable fin qui représente la texture principale des matériaux déversés a sédimenté très rapidement (une à trois minutes) et à une faible distance du site de rejet. Les nuages de sédiments se sont propagés généralement dans une seule direction et leur dimension, du panache, estimée à l'aide des traces observées sur l'échosondeuse, ne dépassait pas 20 m de diamètre. La réduction de la transparence n'était plus que de 5 - 15 % des valeurs pré-dragage à une distance de 0,75 mille marin. La déposition sur le fond et la dispersion quasi complète des particules détectées par l'échosondeuse se produisent à l'intérieur d'un rayon de 1 mille du site de rejet dans la direction des courants dominants. Les résultats ne permettent pas de détecter quelqu'effet que ce soit à court et moyen terme (3 mois) de la présence dans la colonne d'eau des déblais de dragage sur la croissance, la mortalité et le taux de filtration des moules. La sédimentation rapide et la dispersion limitée des déblais rejetés en mer ainsi que la circulation nette de la masse d'eau au cours des déversements montrent toutefois que les moules n'aient pas été en contact avec les sédiments en suspension.

ABSTRACT

Bergeron, P., M. Fréchette, L. Pagé, Y. Lavergne et G. Walsh. 1990. Sédimentation et dispersion des déblais de dragage en mer et effets sur la moule bleue (Mytilus edulis) en élevage dans la baie des Chaleurs. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. no. 1746: viii + 59 p.

Dredging operations conducted along the wharf in Carleton and Saint-Godefroi (baie des Chaleurs) yielded respectively a total of 1 903 and 3 660 m^3 of deposits. This material was dumped offshore approximatively 2,5 nautical miles from the coast and its dispersal was monitored with an echosounder and a transmissometer along compass courses radiating from the dumping site. Water transparency was analysed along with data collected on grain-size frequency distribution, current speed and direction in order to estimate dispersal rates and sediment motions. A maximal reduction of 47,2 % of initial water transparency was recorded within 50 m of the dumping site. The coarse-grained fraction of the sediments sinked within one to three minutes close to the dumping site. Sediment dispersal was generally unidirectional and the size of the plume estimated with sounder echoes was below 20 m in diameter. Reduction of water transparency dropped to 5-15 % of pre-dredging values 0,75 nautical mile from the source indicating that near complete dispersal and deposition of particulates were achieved within approximately 1 mile in the direction of prevailing currents. Results do not indicate any immediate or long term effects (3 months) of the presence of dredged sediments on filtration rates, growth and mortality of transplanted cultured mussels. High sinking rate and limited dispersal of dredged material along with the net water movement during dumping activities however suggest that mussels may not have experienced high loads of suspended material during the study.

PRÉFACE

La présente publication est une synthèse, réalisée par la firme BIOREX (division de ACSI-BIOREX Inc.) de trois (3) rapports d'études portant sur le suivi des déversements de dragage en mer dans la baie des Chaleurs. Les deux premiers ont été réalisés par la firme BIOREX, pour le compte de la Division de la gestion de l'habitat du poisson et de la division de l'habitat du poisson, Direction des sciences biologiques du ministère des Pêches et des Océans. Le troisième a été préparé par la Direction de la recherche sur les pêches et regroupe les résultats obtenus à Carleton sur le taux de filtration et la croissance des moules. Les versions intégrales des rapports peuvent être consultées en s'adressant au Ministère.

INTRODUCTION

Les ministères des Pêches et des Océans du Canada et Transport Canada sont responsables du maintien des profondeurs d'eau navigable dans les bassins d'amarrage et les chenaux d'accès des petits ports et havres de pêche au Québec. La méthode la plus répandue de disposition des matériaux dragués est celle du rejet en eaux libres. Le volume annuel de déblais de dragage immergés en mer s'établit à environ 88 000 m^3 dans la baie des Chaleurs et aux Iles-de-la-Madeleine (Environnement Canada, 1987). Parmi les différentes étapes d'une opération de dragage, le rejet en eaux libres présente les risques potentiels les plus élevés car les sédiments peuvent être dispersés sur des surfaces importantes suite au transport par les vagues et les courants (Rochon, 1984). Avec l'expansion des municipalités et des activités industrielles, on note une pollution croissante des sédiments des cours d'eau dont la manipulation risque en de nombreux cas d'entraîner la remise en suspension de métaux lourds et des substances organiques synthétiques susceptibles d'être néfastes pour les écosystèmes pélagiques et benthiques.

Le rejet de déblais de dragage en mer entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau qui peut représenter une menace sérieuse pour les espèces commerciales marines (e.g. barrière temporaire à la migration de certaines espèces de poissons) et plus particulièrement pour les mollusques bivalves (action de colmatage chez les organismes filtreurs). Avec le développement de l'élevage commercial de la moule bleue (Mytilus edulis) et du pétoncle géant (Placopecten magellanicus) dans la baie des Chaleurs, Travaux Publics Canada et Pêches et Océans Canada ont mis sur pied et financé une étude de la dispersion des sédiments déversés en mer et leurs effets sur les mollusques cultivés en suspension. Devant la difficulté de prévoir le résultat de l'addition possible de quantités significatives de sédiments dans la colonne d'eau au voisinage d'une zone aquicole, il est apparu nécessaire d'effectuer un suivi de la réponse des moules en élevage. Les objectifs du travail étaient: 1) de décrire la trajectoire des matériaux rejetés en mer; 2) d'évaluer l'ampleur de la turbidité causée par ces déblais en périphérie du site de déversement; et 3) d'évaluer l'effet d'une quantité élevée de matière en suspension sur la croissance, la mortalité et le taux de filtration des moules d'élevage maintenues à proximité de ce même site. Le monitoring du taux de filtration des moules avait pour but de fournir un critère d'alerte précoce en cas d'effet indésirable des sédiments sur les moules. Les observations portaient également sur les taux de croissance et de mortalité des moules de telle sorte qu'il aurait pu être possible de détecter et de quantifier des effets à plus long terme.

La remise en circulation et la disponibilité de substances chimiques contenues dans les sédiments de même que l'impact des déversements sur l'écosystème benthique (enfouissement des organismes, diminution de l'oxygène dissous) n'ont pas été abordés au cours de cette étude. Le présent rapport présente un compte rendu des travaux confiés à la firme BIOREX (division de ACSI-BIOREX Inc.) pour le suivi environnemental des déversements effectués au large des municipalités de Carleton et Saint-Godefroi dans la baie des Chaleurs en 1989.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

ACTIVITÉS DE DRAGAGE

Le suivi du rejet de déblais de dragage en mer a été effectué à deux localités de la baie des Chaleurs soit Carleton et Saint-Godefroi. A chaque localité, les sédiments ont été recueillis le long du quai de Transport Canada à l'aide d'une drague mécanique à benne preneuse (voir la figure 2 de Rochon, 1984) et ces matériaux ont été chargés sur des chalands d'une capacité de 48,8 m^3. Le largage des matériaux dragués s'effectuait de façon instantanée au site de rejet alors que le remorqueur réduisait sa vitesse sans toutefois s'immobiliser. L'orientation du chaland en mouvement lors du déversement était d'environ 150° SE.

A Carleton, les travaux de dragage ont débuté le 15 juin 1989 et se sont poursuivis sans interruption jusqu'au 21 juin 1989. De façon générale, six déversements étaient effectués entre 08:00 et 18:00 (HAE) pour un volume total de 292,8 m^3 par jour à l'exception du 21 juin où seulement deux chalands ont été remplis, soit 97,6 m^3. Les déblais ont été rejetés en mer à 2,6 milles marins au large du phare de Carleton (Fig. 1) sur des

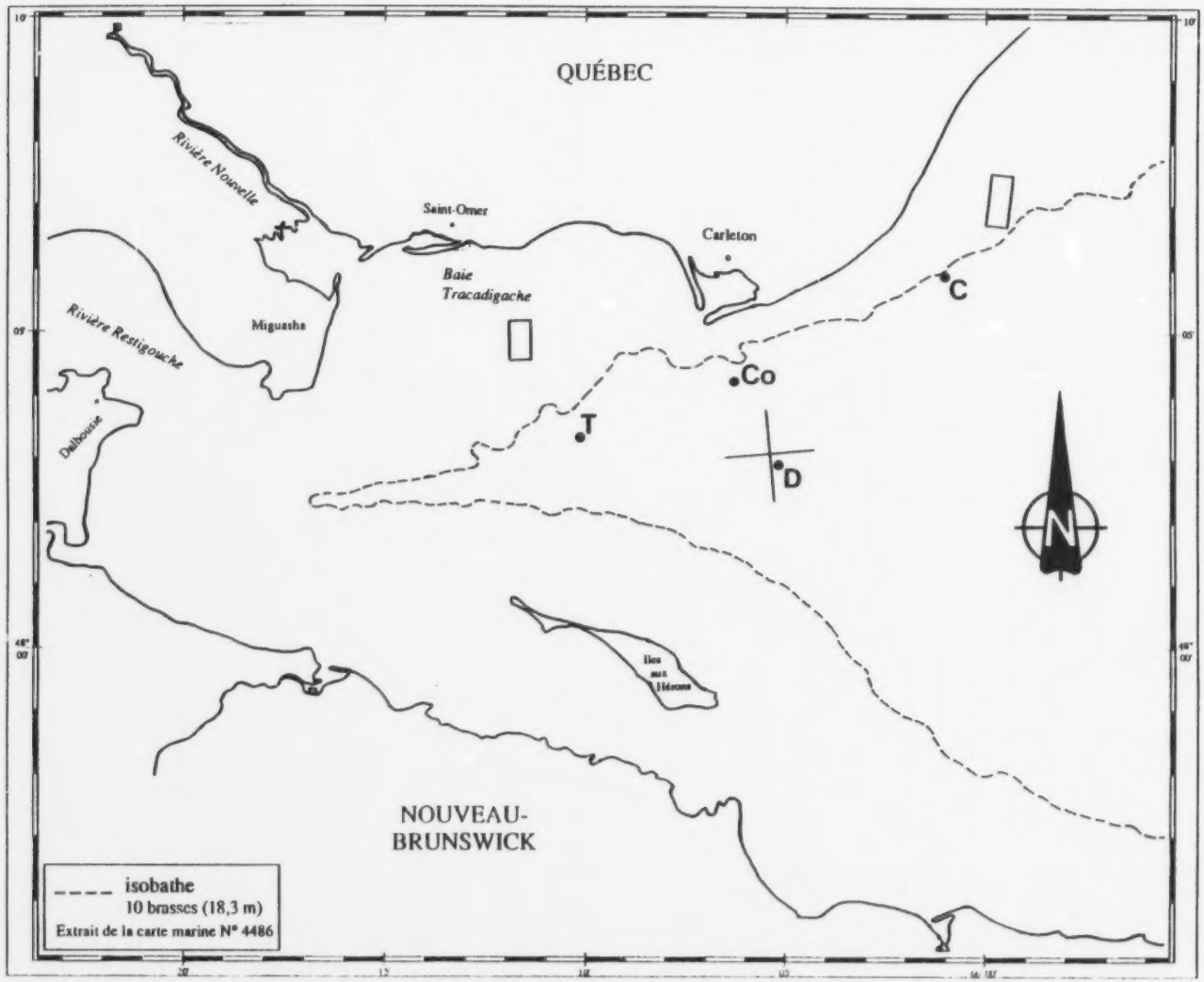


Figure 1: Localisation des filières ancrées dans la baie Tracadigache (T), au site de déversement (D) et dans la baie Cascapédia (C). La position du courantomètre est indiquée par les lettres Co. Les rectangles indiquent l'emplacement des parcs d'élevage gérés par Les Produits Baie Bleue. Le site de déversement correspond à l'intersection des deux segments de droite sur lesquels ont été positionnées les stations de mesure de turbidité.

fonds de 25,5 m (sous le niveau de référence marégraphique). Les coordonnées du site de rejet telles que fournies par Travaux Publics Canada sont 48° 03' 00" N et 66° 05' 42" W.

A Saint-Godefroi, les travaux de dragage ont débuté le 13 juillet 1989 et se sont poursuivis jusqu'au 28 juillet 1989. Les travaux ont été interrompus les 15, 16, 22 et 23 juillet. Le nombre de déversements varie de 3 à 8 par jour et le volume total de sédiments rejetés en mer au cours des 12 jours d'opération est de 3660 m^3. Les déblais ont été rejetés en mer à 2,4 milles marins au large du havre (Fig. 2) sur des fonds de 37 mètres. Les coordonnées du site de rejet telles que fournies par Travaux Publics Canada sont 48° 02.70' N et 65° 05 00' W.

Six échantillons de sédiments ont été recueillis (2 à Carleton et 4 à Saint-Godefroi) pour analyse granulométrique. Les matériaux dragués ont été prélevés à l'intérieur des chalands et leur texture a été déterminée à l'aide d'une colonne de tamis dont les mailles sont réparties entre 28 mm et 0,0033 mm (3,3 µm). Après séchage à l'étuve, les sédiments étaient criblés et les matériaux retenus par chaque tamis ont été pesés et leur pourcentage du poids total déterminé.

MESURE DE LA TURBIDITÉ ET DE LA DISPERSION DES DÉBLAIS

Un turbidimètre (Sea Tech inc) couplé à un STD-12 (salinité, température, profondeur) a été utilisé pour mesurer la transparence de l'eau. L'appareil fonctionne par absorption d'un faisceau lumineux d'une longueur d'onde de 670 nm sur un parcours de 25 cm et la précision de la transmissibilité est de ± 0,5%. L'appareil a été programmé pour effectuer une lecture tous les 0,5 ou 1 mètre. En raison de l'inclinaison de l'appareil lors de sa descente (traction exercée par le courant) et de la nécessité d'éviter de mettre la sonde en contact avec le fond, aucun enregistrement n'a été effectué à une distance inférieure à 1 m du fond. Pour chaque profil, l'heure, la position ainsi qu'une lecture du disque de Secchi ont été notées. A chaque localité, les profils ont été effectués avant, pendant et après les déversements en mer.

A Carleton, des bouées de localisation ont été placées à l'aide d'un radar le long de deux radiales disposées à 90° l'une de l'autre et dont l'intersection correspond à la position du site de déversement (Fig. 1). Les bouées ont été placées à 1/4 et à 3/4 de mille marin dans les directions nord, sud, est et ouest par rapport au site de déversement. Les positions correspondant à 1/8, 1/2 et 1 mille marin du site de déversement ont été estimées visuellement en utilisant les bouées préalablement ancrées à 1/4 et 3/4 de mille marin.

La turbidité et la dispersion des déblais de dragage ont été étudiées pour 22 déversements sur un nombre total de 38. Le choix de la direction à adopter le long des radiales pour suivre la dispersion des sédiments a été fait en se fiant sur la direction des courants estimée à l'aide de la trajectoire d'un dériveur de surface et de la déviation subie par le disque de Secchi lors de son immersion. Comme les courants de surface ne concordent pas toujours avec ceux en profondeur, les stations d'échantillonnage choisies au cours des déversements n'ont pas toujours été placées dans l'axe principal de dispersion des rejets. Nous avons choisi de déterminer presqu'exclusivement les mesures à des stations situées sur les radiales plutôt qu'à des stations hors des radiales en raison de l'imprécision des positions obtenues au Loran C sur de courtes distances (0,125 mille marin ou 231 m).

A Saint-Godefroi, la trajectoire des sédiments après leur rejet a été observée à l'aide d'une échosondeuse couleur (Raytheon™, modèle V-800); les nuages de turbidité ont été clairement détectés par l'appareil au cours des vingt premières minutes suivant un déversement. Après cet intervalle de temps, les sédiments n'étaient plus perceptibles à la sondeuse malgré les nombreux déplacements effectués en périphérie du site de déversement dans un rayon de un mille marin. La dispersion des déblais de dragage a été étudiée au cours de 33 déversements sur un nombre total de 75. Un total de 224 profils verticaux ont été effectués à l'aide du STD-Turbidimètre au cours de la période d'échantillonnage.

OCÉANOGRAPHIE CÔTIÈRE

La température, la salinité et la courantométrie ont été enregistrées à l'aide d'un courantomètre de type Aanderaa (modèle

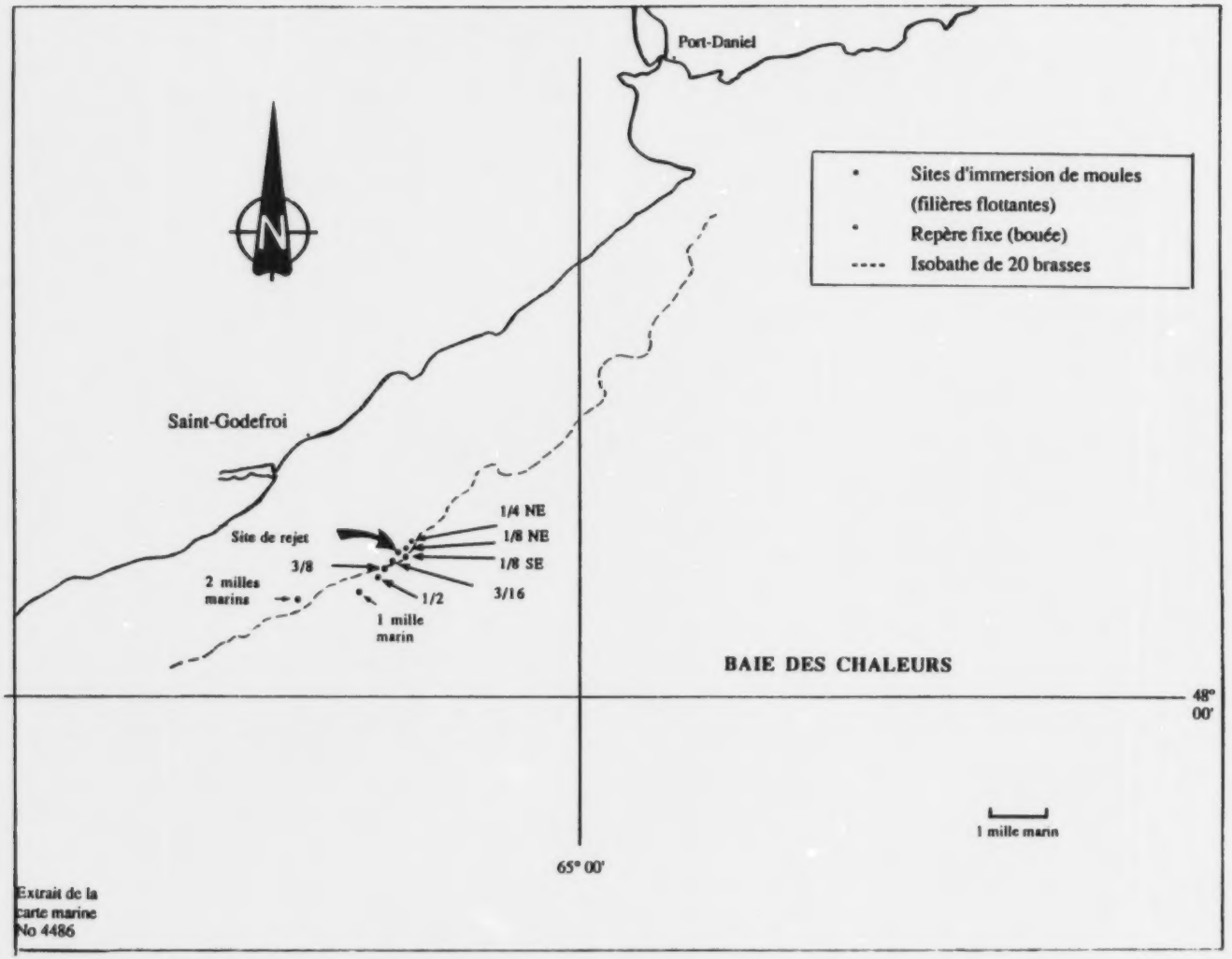


Figure 2. Localisation des sites de déversement et d'ancrage des six filières flottantes au large de Saint-Godefroi. Les sites sont identifiés par la distance qui les sépare du site de déversement.

RCM-4) pour les deux sites étudiés. A Carleton, le courantomètre a été ancré à 1,25 milles marins au large de la pointe Tracadigache sur des fonds de 23,5 m (Fig. 1) et a été fixé à une profondeur de 10 mètres sous le niveau de référence marégraphique, soit le niveau où sont maintenues les moules d'élevage dans la baie Tracadigache. Les lectures ont été prises à un intervalle de 20 minutes entre le 13 (16:35 HAE) et le 23 juin 1989 (09:50 HAE).

A Saint-Godefroi, le courantomètre fut mouillé à environ 0,5 mille marin au sud-ouest du site de déversement au large de St-Godefroi (entre les sites marqués 1/2 et 1 sur la Fig. 2). L'appareil a été fixé à une profondeur de 8,5 mètres sous le niveau de référence marégraphique entre le 12 et le 27 juillet et à 18 m entre le 27 juillet et le 10 août. Les lectures ont été prises à un intervalle de 5 minutes.

L'heure et l'amplitude des marées ont été calculées à partir des prédictions compilées dans les tables des marées et courants du Canada (Pêches et Océans Canada, 1989) pour le port de référence de Pointe-Saint-Pierre.

SUIVI DES MOULES D'ÉLEVAGE EN SUSPENSION

Site de Carleton

Les moules d'élevage appartenant à la firme "Les Produits Baie Bleue" (PBB) de Saint-Omer ont été placées en cage et transplantées sur des filières flottantes ancrées à trois sites: le premier est à proximité du site de déversement et les deux autres sont placés entre le site de déversement et chacun des parcs de mytiliculture de PBB (Fig. 1). Les moules ont été placées le 14 juin sur les trois filières (Fig. 3) et ont été maintenues à une profondeur de 10 mètres pour la durée de l'expérience.

Taux de croissance: Cent vingt moules appartenant à chacune des classes de taille 20 - 35 mm, 36 - 50 mm et 50 + mm ont été mesurées et marquées individuellement à l'aide d'un fil monofilament collé sur la coquille et coupé vis-à-vis son extrémité postérieure de façon à marquer la longueur initiale de chaque moule. Douze cages (matériel Vexar™) de 10 moules marquées ont été fabriquées pour chaque classe de taille et réparties également entre les trois sites décrits plus haut. Deux cages pour chaque classe de taille ont été recueillies 30 et 90 jours après le début des opérations de déversement. Le taux de croissance instantané (TCI), calculé sur une base quotidienne, a été évalué de la façon suivante:

$$TCI = (\ln l_z - \ln l_0) / D$$

où $\ln l_0$ et $\ln l_z$ sont les logarithmes naturels de la longueur initiale et de la longueur finale de la coquille, et D le nombre de jours écoulés entre le début et la fin de l'expérience.

Mortalité: Des moules de plus de 50 mm de longueur (moules de 2 ans) ont été sélectionnées sur les boudins appartenant à PBB. Ces moules ont été regroupées en lots de 30 individus et placées dans des cages en Vexar™. Deux cages ont été récoltées à chaque station à cinq reprises soit aux jours +2, +4, +6, +30 et +90 , le jour 0 étant le début des opérations de dragage. La mortalité des moules a été évaluée à partir du réflexe de fermeture des coquilles après avoir exercé une pression manuelle sur ces dernières.

Taux de filtration: Le monitoring du taux de filtration des moules a été effectué au cours de cinq sorties en mer, échelonnées du 13 au 21 juin , à raison d'une sortie à tous les deux jours. Chaque sortie durait environ 6 heures permettant ainsi de suivre l'effet de plusieurs déversements ponctuels au cours d'une même journée. Les taux de filtration ont été mesurés concurremment sur deux groupes de six moules d'élevage de 39,5 à 45,0 mm de longueur maintenues depuis une semaine avant le début des opérations dans des paniers de grillage Vexar™. De nouveaux groupes de moules étaient utilisés à chaque sortie. Le taux de filtration était mesuré à intervalle de dix minutes dans des chambres à filtration selon la méthode de Fréchette et Bourget (1985). Les pigments extraits selon la méthode de Phinney et Yentsch (1985) ont été utilisés comme indice de la quantité de seston organique.

L'approvisionnement en eau de mer était assuré par une pompe placée à 1,2 m de profondeur sur le côté de l'embarcation. Lors des déversements, l'échantillonnage a été

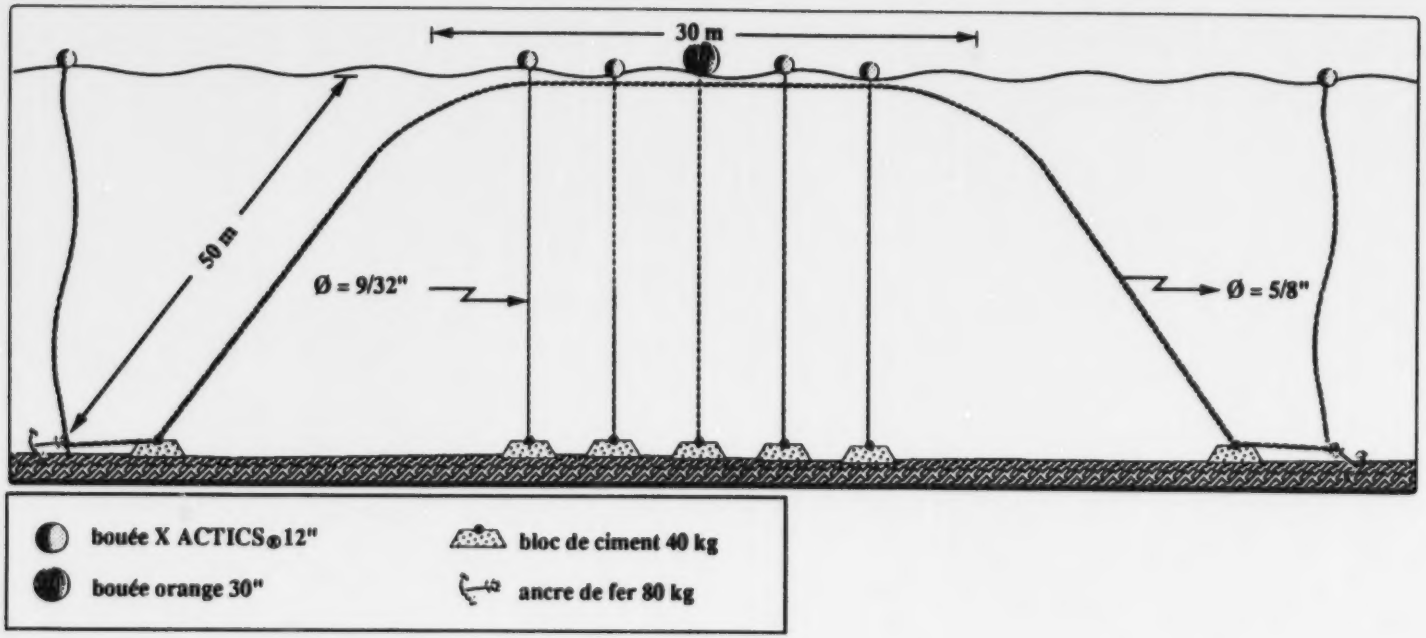


Figure 3. Schéma d'une filière flottante pour le suivi du déversement des déblais de dragage à Carleton.

effectué le plus près possible du site de largage des déblais et les déplacements subséquents ont été déterminés selon la trajectoire suivie par un dériveur de surface.

Site de Saint-Godefroi

Les moules d'élevage appartenant à PBB ont été placées en cage et en boudin et transplantées les 5 et 6 juillet sur des filières flottantes (Fig. 4) placées parallèles à la côte à 3/16, 3/8, 1/2, 1 et 2 milles marins au sud-ouest et 1/8 de mille au sud-est du site de déversement (Fig. 2).

Taux de croissance: La croissance des moules a été mesurée comme la différence entre les tailles moyennes finale et initiale d'un groupe de 30 individus. Des moules âgées de un an et de 31 à 35 mm de longueur ont été sélectionnées et regroupées en 60 lots de 30 moules de façon à permettre la récolte sur chacune des filières de deux lots aux jours 0, +15 et +30 et de quatre lots au jour +70, le jour 0 étant le début des opérations de dragage. La même procédure a été adoptée pour les moules âgées de deux ans dont la taille initiale variait de 46 à 50 mm de longueur.

Mortalité: La mortalité des moules âgées de 1 et de 2 ans a été évaluée à l'aide des individus sélectionnés pour l'étude de la croissance.

Rendement en chair: Le rendement en chair a été mesuré sur 50 moules de 1 an et 50 moules de 2 ans par filière et par date d'échantillonnage. Il correspond au rapport du poids de la chair cuite après cuisson à la vapeur pendant 10 minutes sur le poids de la chair cuite avec la coquille.

Dénombrement des perles: La présence de perles dans la chair a été examinée sur 15 individus de plus de 50 mm de longueur sur deux filières et à deux dates différentes (13 juillet et 21 septembre). L'extraction des perles était effectuée en plaçant la chair d'un nombre connu de moules dans une solution bouillante d'hydroxide de potassium 5 % pendant 15 minutes après avoir excisé la glande à byssus et l'estomac. La solution obtenue était passée sur un tamis de 200 µm. La taille des perles retenues sur le tamis était ensuite déterminée en utilisant une loupe binoculaire munie d'un oculaire micrométrique.

RÉSULTATS

SITE DE CARLETON

Granulométrie des sédiments

La granulométrie des matériaux dragués à Carleton est illustrée à la Fig. 5A. La taille des particules est exprimée en unités phi (ϕ) qui correspondent au logarithme négatif de base 2 de la dimension des particules en millimètres. La nomenclature de la texture des sédiments (classification de phi) est celle adoptée par Cummins (1962). La plus grande proportion des particules est de taille 2 à 4 unités phi: les sédiments récoltés ont donc une texture de sable fin à très fin et le silt représente moins de 10 % du poids des échantillons. Les deux échantillons récoltés ont une texture semblable.

Marées et courants

Les marées à Carleton sont de type semi-diurne et leur amplitude passe de 0,7 m pour le premier jour de dragage à 2,32 m au cours des marées de vive-eau (20 et 21 juin; Fig. 6). Le niveau moyen de l'eau est de 1,16 m au-dessus du niveau de référence marégraphique. Les vitesses maximales du courant enregistré à 10 m de profondeur à la station Co sont de l'ordre de 20-23 cm/s et apparaissent lors du flot ou du jusant. La composante longitudinale (U) est dominante tout au cours de la durée d'échantillonnage et est continuellement orientée vers l'est (aval) peu importe l'état de la marée. La composante latérale (V) montre des valeurs maximales de 10 cm/s pour un écoulement en direction sud. Trois inversions de courant (écoulement en direction nord) ont lieu au cours de la campagne d'échantillonnage lors du flot des marées de vive-eau entre le 19 et le 21 juin.

La vitesse moyenne des courants calculée sur un cycle complet de marée pour chaque journée de dragage varie entre 8,6 et 13,3 cm/s (Tableau 1). La résultante des vecteurs U et V est orientée en direction E et ESE pour 6 des 7 jours de dragage. Ainsi, une particule mise à l'eau le 18 juin et qui se maintiendrait en suspension à une profondeur de 10 m pendant un cycle complet de marée serait dispersée en direction ESE (106,5°) à une vitesse de 11,7 cm/s (résultante de U= 11,2 et de V= -3,3; Tableau 1).

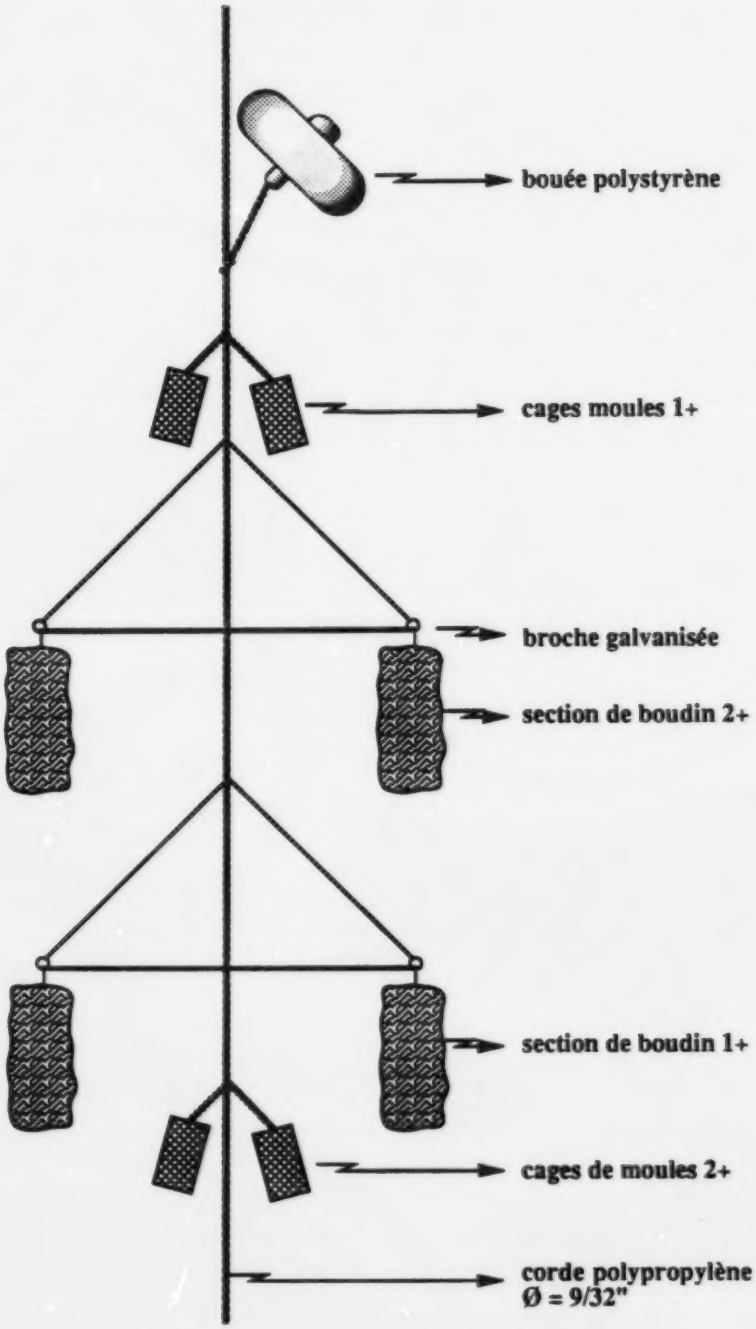


Figure 4. Disposition des cages (ou filets) et des sections de boudins sur les cordes-échantillons à Saint-Godefroi. Le frottement des boudins sur la corde polypropylène est éliminé par l'utilisation de supports placés perpendiculairement à cette dernière.

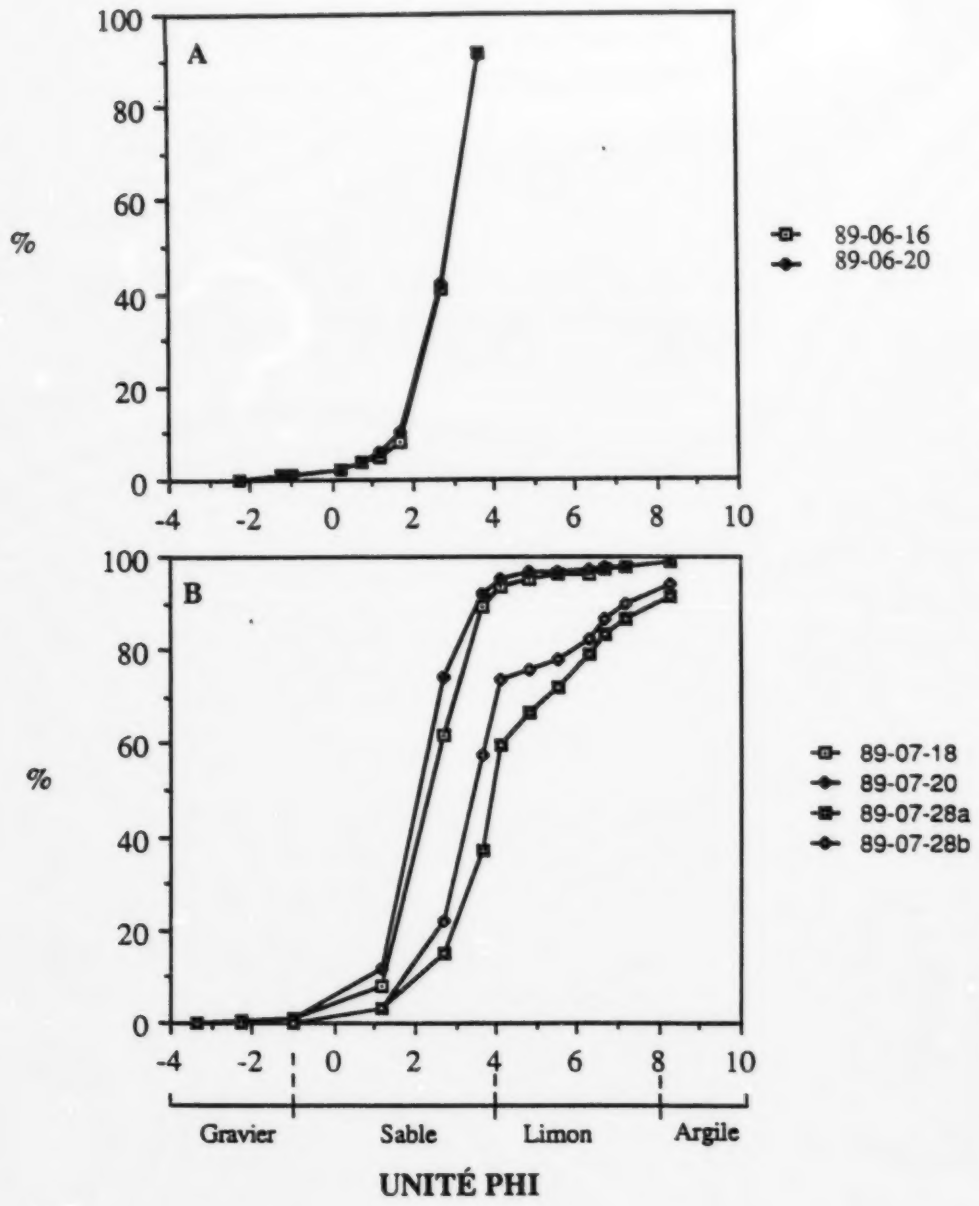


Figure 5. Granulométrie des sédiments recueillis lors du dragage à Carleton (A) et à Saint-Godefroi (B). La composition est exprimée en pourcentage cumulatif du diamètre des particules en unité phi (ϕ). La taille du tamis de plus petite dimension est de 0,075 mm en A et de 0,0033 mm en B. La date de récolte des échantillons est indiquée.

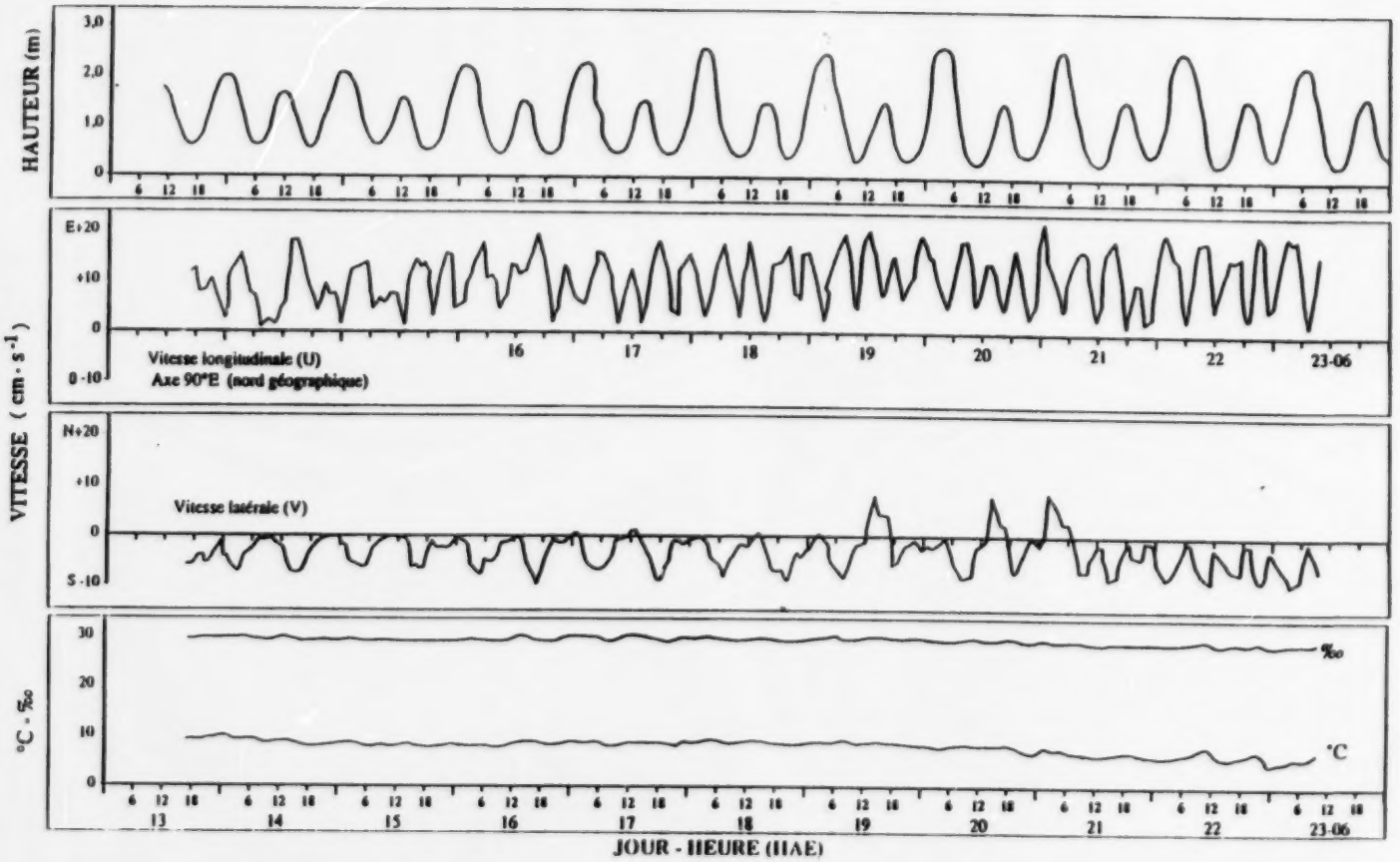


Figure 6. Marée, courants longitudinaux (U) et latéraux (V), salinité et température à chaque heure à 10 mètres de profondeur au large de Carleton.

Stratification de la masse d'eau

La température et la salinité enregistrées avec le STD-Turbidimètre sont illustrées à l'annexe 1 pour des stations situées à moins de 0,25 mille marin du site de rejet. Six dates ont été sélectionnées (13, 15, 17, 18, 20 et 22 juin) de façon à couvrir la durée de l'étude. Ces traits ont tous été effectués lors du flot et entre une à trois heures avant l'étale de pleine mer.

Pour les 13 et 15 juin (traits n° 2A et 5A), la masse d'eau est relativement bien mélangée avec une température de surface de 12°C qui diminue graduellement jusqu'à 6°C à une profondeur de 23 mètres. La salinité suit la relation inverse: de 24 à la surface, elle augmente progressivement jusqu'à 29 en profondeur. Au cours des jours suivants, les gradients verticaux s'accentuent dans la couche superficielle jusqu'à une profondeur de 5 m (traits n° 10B, 18C et 22E) ou 8 mètres (traits n° 11A) suite à l'apparition d'eau plus douce (18 à 24) et plus chaude (jusqu'à 16°C). Cette stratification donne naissance à une halocline qui est bien marquée pour la journée du 20 juin. La masse d'eau sous-jacente conserve les mêmes caractéristiques que celle décrite pour les 13 et 15 juin. Cette stratification est analogue à celle mise en évidence par Lambert (1983) au cours des mois de mai et juin pour 9 stations réparties dans la baie des Chaleurs.

Transparence de l'eau avant le dragage

Pour les trois stations où ont été ancrées les filières (Annexe 2; traits n° 2A, 3A et 3B), la transparence montre généralement un accroissement plus ou moins marqué (66 à 73 %) de la surface jusqu'à 2 ou 4 mètres, suivi de valeurs maximales (75-77 %) pour la couche intermédiaire située entre 5 et 13 mètres et enfin une réduction jusqu'à 63 % à proximité du fond. La profondeur maximale échantillonnée varie de 19,0 à 23,5 m.

Effets physiques des rejets

Turbidité immédiatement après le rejet des déblais: Treize profils ont été effectués au site de déversement et simultanément au largage des matériaux ou dans un délai ne dépassant pas deux minutes. Quatre d'entre eux n'ont détecté aucune turbidité alors que pour les autres un maximum de deux couches de turbidité ont été identifiées lors de la descente des sédiments (Annexe 2; traits n° 7A, 12C, 14A et 16A). La transparence minimale est de 45 % et elle a été le plus fréquemment détectée dans les cinq premiers mètres de la colonne d'eau (Fig. 7A). Cette transparence minimale correspond à une baisse de 37,2 % de la transparence observée avant les travaux de dragage.

Lorsque les couches de turbidité sont nettement détectées lors de la descente de l'appareil, elles ne sont pas toujours présentes lors de sa remontée (Annexe 2; traits n° 14A et 16A) et la transparence alors enregistrée atteint même celle observée avant le début des travaux de dragage pour le même site.

Dispersion des sédiments: Au cours des sept jours de dragage, 57 profils ont été effectués à l'intérieur d'un rayon de 1 mille marin autour du site de déversement (excluant ceux effectués au site exact de rejet) et dans un délai inférieur à deux heures suivant chacun d'eux. Seulement 13 de ces profils (22,8 %) ont mis en évidence une baisse de la transparence (voir les profils n° 8, 12, 18 et 20 à l'Annexe 2) et tous les autres sont semblables à ceux recueillis avant le début des déversements. La réduction de la transparence varie entre 4,2 et 27,8 % de la transparence pré-dragage (Fig. 8A) et n'a ainsi jamais été aussi prononcée que celle observée au site exact de déversement (réduction de 37 % de la transparence pré-dragage). Les nuages de sédiments ont surtout été détectés à une distance inférieure à 500 m du site de déversement en direction est. A trois occasions, ils ont été mis en évidence à 0,75 mille marin (1 390 mètres) entraînant une réduction de la transparence de l'eau de 7 à 16 % des valeurs initiales (Fig. 8A) à une profondeur variant entre 10 et 20 m.

Resuspension des sédiments du fond: La chute des sédiments sur le fond entraîne une réduction de la transparence jusqu'à 30 % des valeurs naturelles à quelques mètres du fond (Annexe 2; trait n° 12C à 25,5 m de profondeur). Cette zone turbide est limitée à environ 3 mètres d'épaisseur au lieu même du déversement. La turbidité au-dessus du fond créée par le soulèvement des sédiments déjà en place n'est observée qu'à deux reprises en périphérie du site de rejet. En effet, la transparence minimale enregistrée à environ 100-150 m du site de rejet (Annexe 2;

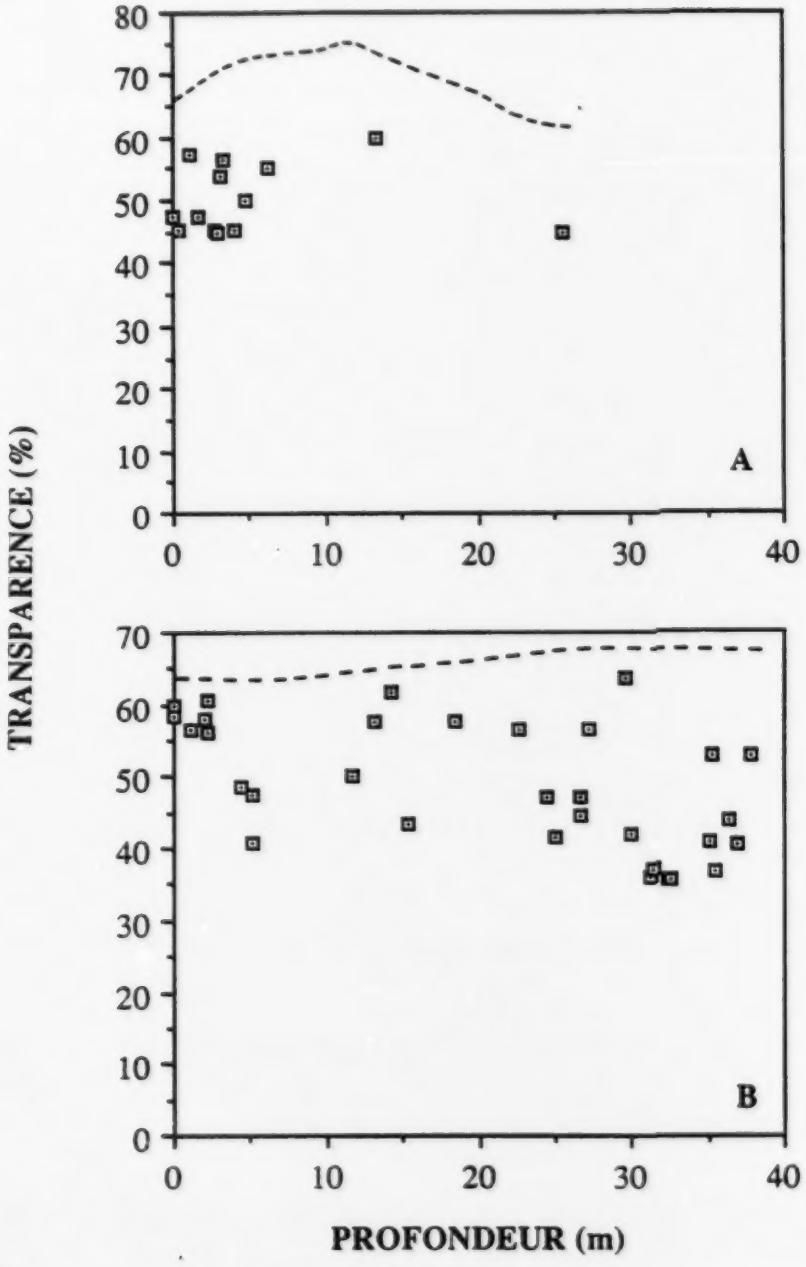


Figure 7. Variations bathymétriques de la transparence (%) minimale détectée sur les profils effectués simultanément aux déversements à Carleton (A) et à Saint-Godefroi (B). Seules les valeurs enregistrées lors de la descente du turbidimètre ont été retenues. Le nombre maximal de couches de sédiments par profil est de 4. Le trait discontinu représente la transparence pré-dragage au site de déversement.

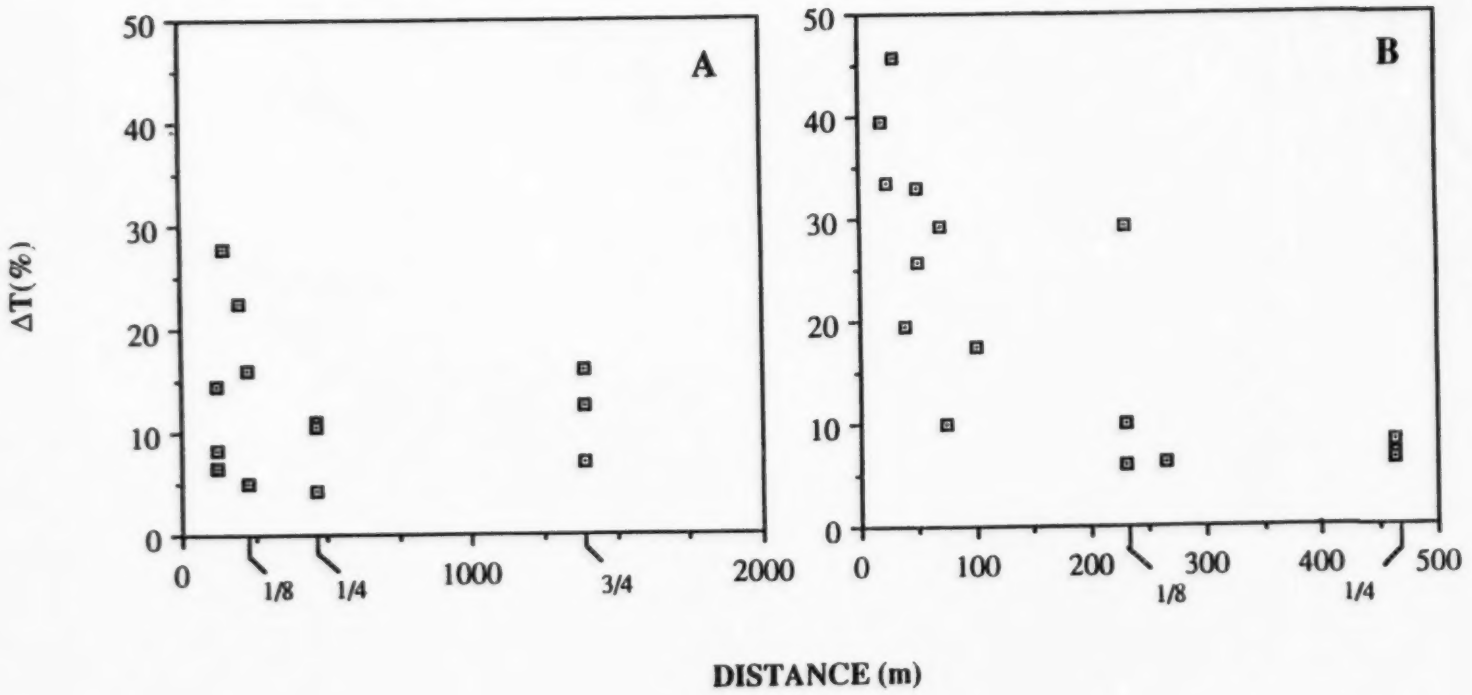


Figure 8. Réduction maximale de la transparence exprimée par rapport aux valeurs pré-dragage ($\Delta T = T_0 - T_t / T_0 \times 100$) en fonction de la distance (m) séparant le site d'échantillonnage et le site de rejet. Lorsque plusieurs nuages de turbidité ont été enregistrés au cours d'un même profil, la valeur minimale de transparence a été retenue sans tenir compte de la profondeur. L'emplacement des sites à 1/8, 1/4 et 3/4 de mille marin est indiqué sur l'abcisse. A, site de Carleton et B, site de Saint-Godefroi.

traits n° 18B et 20B) est de 50 % entre 21,5 et 24,5 m de profondeur. Cette turbidité n'est toutefois pas détectée aux stations situées à 0,25 mille marin.

Transparence de l'eau aux sites d'immersion de moules: Les profils obtenus à chacun des sites d'ancrage des filières donnent des valeurs de transparence semblables à celles décrites avant les travaux de dragage tout au cours de l'étude.

Effets sur les moules d'élevage

Taux de croissance: Le taux de croissance instantané a été calculé pour des intervalles de 30 et 90 jours suivant le début des opérations de dragage pour le site T (voir Fig. 1). On constate que dans les deux cas, le taux de croissance instantané diminue avec la taille initiale des moules (Fig. 9A et B). Cet accroissement en longueur a été comparé aux données recueillies au même site en 1988 (P. Bergeron, ACSI-BIOREX, données non publiées). Nonobstant la variabilité inter-annuelle, ces données de croissance peuvent être prises comme témoin car elles couvrent sensiblement les mêmes périodes que les expériences de 1989 (05-07-88 au 09-08-88, durée = 34 jours; 05-07-88 au 03-10-88, durée = 90 jours) et la profondeur à laquelle ont été maintenues les moules est la même. Comme de telles données ne sont pas disponibles pour les deux autres sites, les comparaisons ne peuvent donc porter que sur les moules de la baie Tracadigache.

Les taux de croissance instantanés calculés à partir des longueurs moyennes des échantillons récoltés en 1988 sont reportés sur la Fig. 9. On constate que la croissance de 1988 coïncide avec l'intervalle de confiance des taux obtenus en 1989 (90 jours, Fig. 9B), ou qu'à la limite, elle est plus faible qu'en 1989 (30 jours, Fig. 9A).

Mortalité : La mortalité des moules de 50 mm et plus est en général inférieure à 3,3 % (un individu sur 30) pour toutes les stations au cours de la période de rejet des déblais de dragage (jour +2, +4, +6) et 30 jours après le début des travaux (Tableau 2). Le taux de mortalité atteint une valeur de 10 % pour la récolte du 12 septembre (+90 jours) dans la baie Tracadigache. Les moules qui ont été suspendues à proximité du site de déversement (0,25 mille marin), celles qui auraient expérimenté une charge particulaire plus élevée, n'ont pas montré un taux de mortalité plus élevé qu'ailleurs. Le dernier échantillon (+ 90 jours) n'a cependant pas pu être récupéré suite à un geste de vandalisme sur la filière flottante.

Taux de filtration: Le taux de filtration moyen lors de chacune des sorties en mer est présenté au Tableau 3. Les valeurs observées avant et pendant les opérations de dragage ont été comparées à l'aide d'une ANOVA utilisant la variance entre les répliquats comme terme d'erreur. Le taux de filtration observé le 13 juin diffère de l'un, ou de plusieurs de ceux observés par la suite ($P \leq 0,01$; Tableau 4). Une différence significative n'a été détectée que pour les observations du 17 juin (Tableau 4).

L'examen de la réponse fonctionnelle des moules lors des déversements indique que le taux de filtration varie selon une relation non linéaire avec la fluorescence et présente un maximum aux environs de 4-5 unités de fluorescence (Fig. 10). Ces valeurs de fluorescence sont d'ailleurs celles qui prévalaient avant le début des opérations de dragage (13 juin) lors des mesures des taux de filtration (Δ sur la Fig. 10).

Pour vérifier l'effet des déversements sur le taux de filtration des moules, les variations du taux ont été étudiées peu après chacun des déversements. En effet, on peut supposer que c'est au moment des déversements que la concentration des sédiments dans l'eau sera la plus élevée et que, le cas échéant, leur effet nocif sur les moules se fera sentir le plus vigoureusement. Pour vérifier que les déversements n'avaient pas d'effet détectable sur le taux de filtration des moules, nous avons étudié le modèle de régression multiple non linéaire entre le taux de filtration d'une part, et la fluorescence et le temps depuis le dernier déversement de déblais, d'autre part. Un modèle non linéaire (quadratique) a été choisi en raison de l'allure non linéaire de la relation entre le taux de filtration et la fluorescence (Fig. 10). Les calculs indiquent que s'il faut prendre en compte la valeur de fluorescence (FENV) pour expliquer les variations à court terme du taux de filtration, le temps écoulé depuis le dernier déversement de déblais (TDDD) n'a aucun effet (Tableau 5).

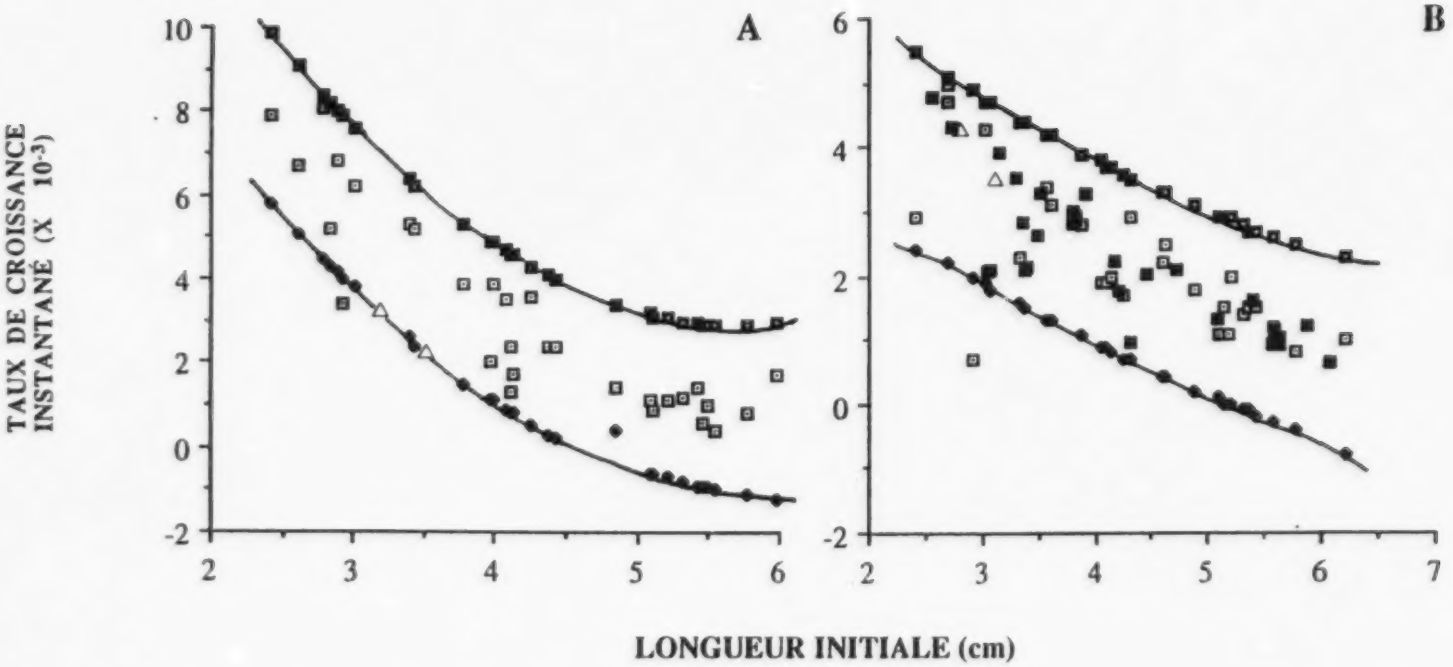


Figure 9. Variation du taux de croissance instantané en fonction de la longueur initiale des moules à Carleton pour les récoltes effectuées 30 jours (A) et 90 jours (B) après le début des déversements. En A, l'un des répliquats n'a pu être récupéré alors qu'en B, les 2 répliquats sont illustrés par les carrés noirs et blancs. Les triangles montrent les résultats obtenus en 1988 (P. Bergeron, données non publiées). Les traits continus représentent les intervalles de confiance (95 %) de la relation entre le taux de croissance et la longueur initiale des moules.

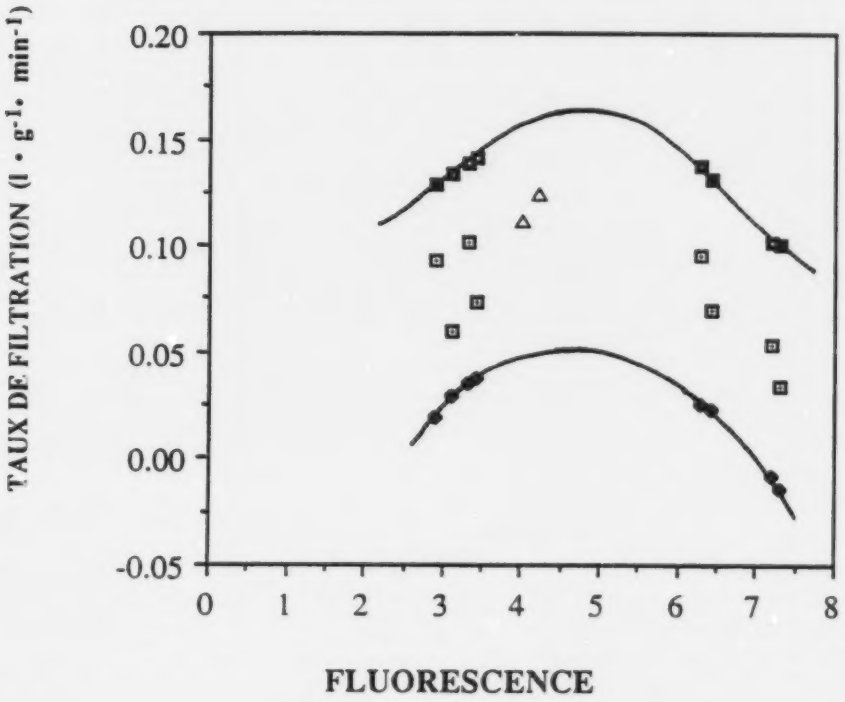


Figure 10. Moyenne des taux de filtration pour chaque répliquat en fonction de la fluorescence environnante. Triangles: avant le début des opérations de dragage, le 13 juin. Carrés blancs: pendant les opérations de dragage. Les traits continus représentent les intervalles de confiance (95 %) de la relation entre le taux de filtration et la fluorescence.

SITE DE SAINT-GODEFROI

Granulométrie des sédiments

La plus grande proportion des particules (89 à 92 %) est de taille 2 à 4 unités phi: ces sédiments ont donc une texture de sable fin à très fin avec trace de limon et argile (Fig. 5B). Cette proportion de sable diminue à 40 et 60 % pour les deux échantillons récoltés le 28 juillet lorsque le dragage était effectué tout juste à l'extérieur du havre. La fraction limon-argile représente plus de 40 % du poids des particules pour ces échantillons récoltés le dernier jour de dragage.

Marées et courants

Les marées à Saint-Godefroi sont de type semi-diurne et leur amplitude passe de 0,58 m pour le premier jour de dragage à 1,86 m au cours des marées de vive-eau (19 et 20 juillet). Le niveau moyen de l'eau est de 0,97 m au-dessus du niveau de référence marégraphique.

Au cours de la première période d'enregistrement (du 12 au 27 juillet) qui couvre 11 des 12 jours de dragage, la vitesse moyenne des courants à 8,5 m de profondeur est de 26,7 cm/s. La vitesse maximale des courants à cette même profondeur est de l'ordre de 90 cm/s (1,75 noeuds) et elle apparaît lors du flot du 22 juillet. La circulation s'effectue principalement dans l'axe ouest-est et est fonction de la composante semi-diurne de la marée (Fig. 11). Une composante semi-mensuelle se superpose à cette dernière et reflète vraisemblablement la cadence des marées de vive et morte-eau. En effet les marées de vive-eau prédites au 19 juillet sont précédées d'une période où la circulation nette non-tidale est vers l'aval (6 cycles de marées entre le 15 et le 18 juillet) alors que les marées de morte-eau (quadrature le 25 juillet) sont précédées d'une période où la circulation nette est vers l'amont (8 cycles de marées consécutifs entre le 21 et le 25 juillet).

Au cours de la seconde période d'enregistrement (du 27 juillet au 10 août), la vitesse moyenne des courants à 18,0 m de profondeur est de 15,8 cm/s. La vitesse maximale est de l'ordre de 60,0 cm/s lors du flot de vive-eau du 30 juillet. Le courant résiduel est orienté vers l'amont entre le 29 juillet et le 1er août, vers l'aval les 4, 5 et 6 août et de nouveau vers l'amont entre le 7 et le 10 août (Fig. 12).

La vitesse moyenne des courants calculée sur un cycle complet de marée pour chaque journée de dragage passe de 15,6 cm/s le 13 juillet à un maximum de 30-33 cm/s peu après les marées de vive-eau (Tableau 6; à 8,5 m de profondeur). Elle diminue progressivement par la suite jusqu'à 11 cm/s le 27 juillet. La turbulence devrait ainsi être maximale entre le 20 et le 24 juillet. Les composantes longitudinale (U) et latérale (V) calculées de la même façon montrent un transport net essentiellement vers le nord (lorsque V est positif) pour toutes les journées où les déversements ont été effectués (Tableau 6). La résultante des vecteurs U et V est le plus fréquemment orientée vers l'aval (U est positif 8 jours sur un total de 12). Ainsi, une particule mise à l'eau le 20 juillet et qui se maintiendrait en suspension à une profondeur de 8,5 m pendant un cycle complet de marée serait dispersée en direction ENE à une vitesse de 29 cm/s (résultante de U= 27,3 et de V= 9,5; Tableau 6).

Stratification de la masse d'eau

La température et la salinité au site de déversement sont illustrées à l'Annexe 1. Six dates ont été sélectionnées (12, 14, 18, 21, 28 et 29 juillet) de façon à couvrir la durée de l'étude. Ces traits ont tous été effectués lors du flot et trois heures avant l'étale de pleine mer. Pour les relevés du 12 et 14 juillet, la couche supérieure (0-20 m) est nettement homogène avec une température de 14-15°C et une salinité de 27-28. La couche sous-jacente (20-36 m) est caractérisée par des gradients plus marqués où la température atteint 6 ou 10°C. A partir du 18 juillet, on note un refroidissement de la masse d'eau pour les profondeurs supérieures à 10 m, refroidissement qui donne naissance à un gradient relativement constant sur toute la colonne d'eau. Les températures minimales (1,8°C) sont d'ailleurs observées le 18 juillet à proximité du fond (36,3 m). La couche plus profonde (20-36 m) se réchauffe progressivement du 18 au 28 juillet réduisant ainsi l'importance du gradient vertical. Une nouvelle baisse de température survient pour les profondeurs supérieures à 30 m : elle passe de 12°C le 28 juillet à 6°C le lendemain.

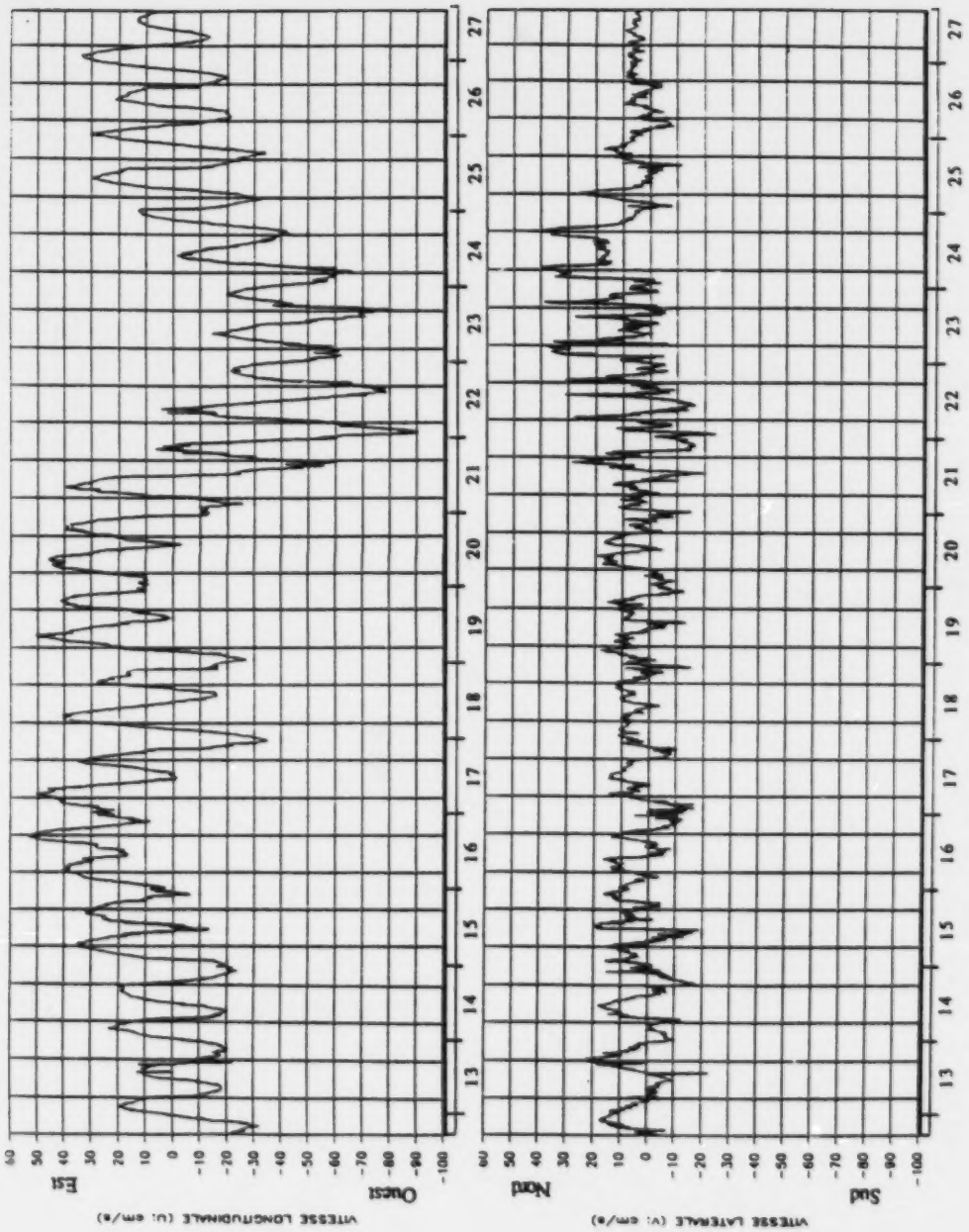


Figure 11. Composantes longitudinale (U, cm · s^{-1}; orientée ouest vers est) et latérale (V, cm · s^{-1}; orienté sud vers nord) de la vitesse des courants enregistrés à 8,5 m sous le niveau de référence marégraphique entre le 12 (16:35, HAE) et le 27 juillet (15:30, HAE) au large de Saint-Godefroi. Les enregistrements ont été pris à intervalle de cinq minutes. Les lignes verticales correspondent à une période de 12 heures soit 144 enregistrements. Le courantomètre a été hissé à la surface le 13 juillet à 12:30 et remis à l'eau à 12:50.

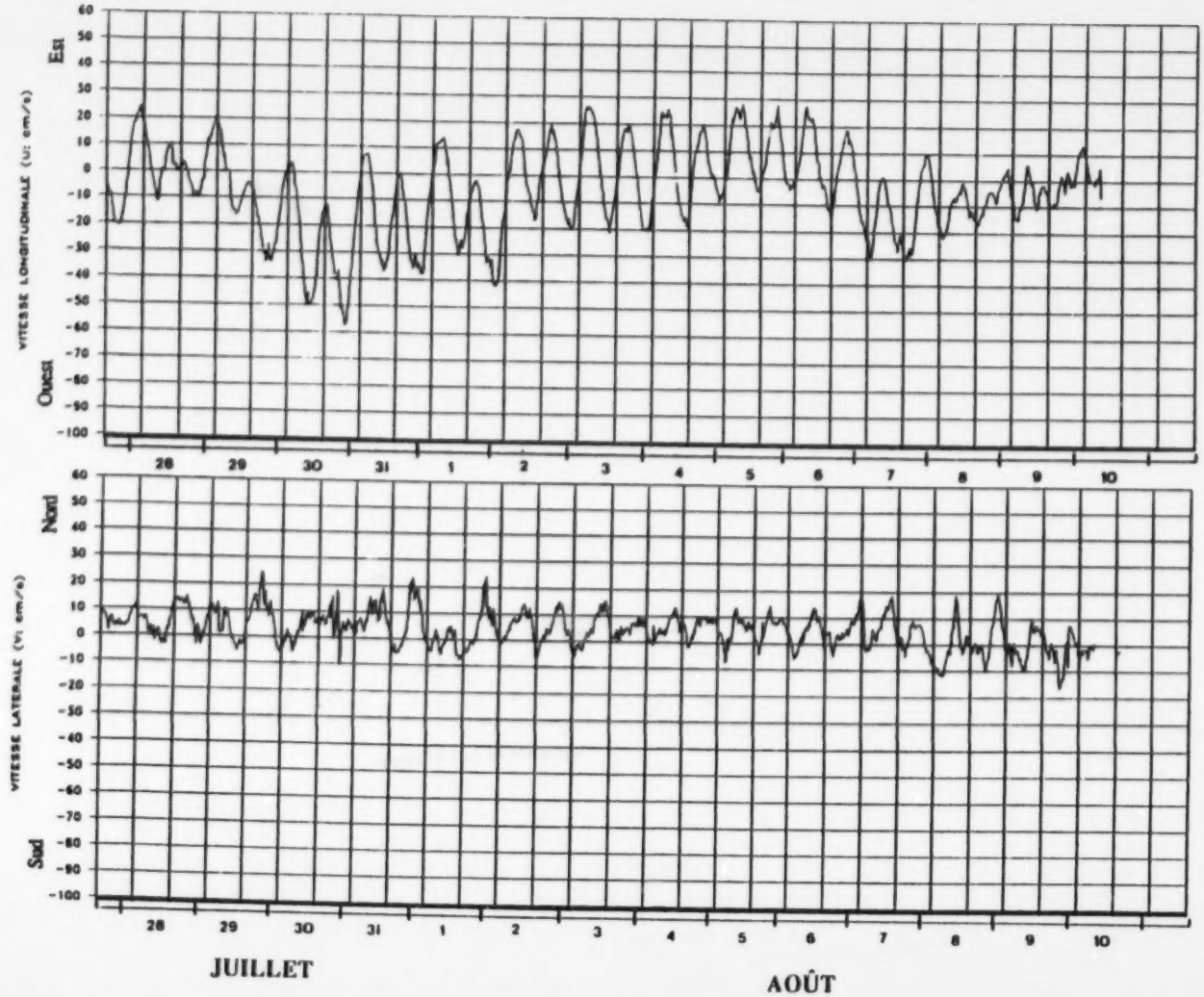


Figure 12. Composantes longitudinale (U, cm · s^{-1}; orientée ouest vers est) et latérale (V, cm · s^{-1}; orienté sud vers nord) de la vitesse des courants enregistrés à 18,0 m sous le niveau de référence marégraphique entre le 27 juillet (16:23, HAE) et le 10 août (15:30, HAE) au large de Saint-Godefroi. Les enregistrements ont été pris à intervalle de cinq minutes. Les lignes verticales correspondent à une période de 12 heures soit 144 enregistrements.

Transparence de l'eau avant le dragage

Les sites d'ancrage des filières et celui de déversement ont été visités le 12 juillet avant le début des travaux de dragage alors que la vitesse moyenne des courants lors du flot était de 23,2 cm/s vers l'ouest. Les sept stations montrent des profils identiques (Annexe 3, profils n° 1A à 1G): la transparence est généralement de 63-64 % dans la couche superficielle et s'accroît légèrement avec la profondeur pour atteindre des valeurs maximales de 67-68 % au-delà de 20 mètres de profondeur. La profondeur maximale échantillonnée est de 23,6 mètres pour le site à deux milles marins et varie de 34,3 à 39 mètres pour les autres.

Effets physiques des rejets

Turbidité immédiatement après le rejet des déblais: Vingt-deux profils ont été effectués au site de rejet simultanément ou à l'intérieur des trois minutes suivant le largage des sédiments. Aucune réduction de la transparence n'a été observée pour deux de ces profils probablement parce qu'ils ont été effectués en amont du lieu exact de rejet par rapport au courant. Dans les autres cas, la réduction de la transparence apparaît à différentes profondeurs sous forme de couches distinctes dont le nombre varie de 1 à 4. L'épaisseur de ces nuages de turbidité est en moyenne de 5,2 m et peut atteindre 20 m (Annexe 3, profil n° 17A). La transparence de ces différentes couches n'est pas fonction de la profondeur à laquelle elles ont été détectées (Fig. 7B) quoique les plus faibles valeurs (35,4 %) aient été enregistrées plus fréquemment près du fond. Cette transparence minimale correspond à une réduction de 47,2 % de la transparence observée avant les travaux de dragage.

Les enregistrements obtenus lorsque le turbidimètre fut hissé vers la surface montrent généralement un accroissement de la transparence des couches de turbidité détectées lors de la descente de l'appareil et dans certains cas une disparition complète de ces dernières. Ce phénomène est plus marqué dans la couche superficielle de la colonne d'eau qu'en profondeur (profils n° 13E, 14A, 20A, 21C et G et 22A) car l'intervalle de temps qui sépare les lectures obtenues lors de la descente et de la remontée de l'appareil est plus long en surface qu'en profondeur.

Dispersion des sédiments: La trace laissée par les sédiments sur l'échosondeuse n'était généralement perceptible que durant les 30 minutes après leur rejet en mer. Malgré les nombreux déplacements effectués en bateau dans la direction des courants dominants, cette trace était toujours de dimension réduite (< 20 m de diamètre) suggérant que la trajectoire suivie par les sédiments était unidirectionnelle.

Au cours des 12 jours de dragage, 140 profils ont été effectués à l'intérieur d'un rayon de 1 mille marin du site de rejet (excluant ceux effectués au site exact de rejet) et dans un délai inférieur à deux heures suivant chacun d'eux. Une baisse de la transparence n'est apparue que sur 28 de ces profils (20,0 %). Ces couches de turbidité ont généralement été détectées dans la même direction que celle des courants enregistrés à 8,5 m lors du déversement. On note que la réduction de la transparence exprimée par rapport aux valeurs pré-dragage est inversement proportionnelle à la distance entre le site échantillonné et le site de rejet (Fig. 8B). La réduction de la transparence varie de 10 à 47 % dans un rayon de 100 m et demeure inférieure à 10 % lorsque la distance atteint 500 m. Les réductions minimales de transparence ont ainsi été notées à 500 m après un laps de temps de 25 à 30 minutes alors que les sédiments étaient à une profondeur supérieure à 20 m. En plus d'une réduction de la turbidité, une diminution de l'épaisseur des couches a été observée lorsque les profils ont été effectués au-delà de 50 m du site de rejet (Annexe 3; profils n° 17 et 22).

Resuspension des sédiments du fond: Les profils effectués au site exact de déversement une à deux minutes après le largage des matériaux montrent une réduction de la transparence jusqu'à 4-5 mètres (profils n° 16E, 20A et 22A) ou 6-8 mètres (profils n° 21G) au-dessus du fond. La transparence varie alors de 35,4 à 50 %. Après un intervalle de temps de 5 minutes, la transparence enregistrée à ces mêmes profondeurs au site de déversement est généralement semblable aux valeurs pré-dragage. Parmi les 7 profils effectués dans un rayon de 100 m du lieu de déversement et après 10 à 15 minutes, un seul (n° 21D) a détecté une couche de turbidité au voisinage du fond (à 30 m de distance et à une profondeur de 32 m).

Transparence de l'eau aux sites d'immersion des moules: En aucun cas, la transparence enregistrée aux sites d'immersion des moules n'a atteint des valeurs inférieures à 62 % au cours de la campagne d'échantillonnage.

Effets sur les moules d'élevage

Taux de croissance: Le taux instantané de croissance calculé à partir de la longueur moyenne des moules est inversement proportionnel à la taille (Tableau 7). Pour les trois récoltes effectuées, soit 14, 28 et 70 jours après le début des opérations de dragage, les taux de croissance ne sont pas liés à la distance qui sépare les filières du site de déversement. Les moules maintenues à proximité du site de rejet, celles susceptibles d'avoir été le plus affectées par les matériaux déversés, montrent un accroissement en longueur semblable à celles suspendues à deux milles de ce même site.

Mortalité: Le taux de mortalité moyen des moules de 1 et 2 ans maintenues à 10 m de profondeur sur toutes les filières est inférieur à 5,0 % au jour 0, soit tout juste avant le début des travaux de dragage (Tableau 8). Pour les récoltes effectuées aux jours +14, +28 et +70, le taux de mortalité moyen demeure inférieur à 7,5 et 3,3 % respectivement pour les moules âgées de 1 et 2 ans. Les moules suspendues à proximité du site de déversement (1/8 de mille marin), celles qui auraient expérimenté une charge particulaire plus élevée ou tout autre effet lié aux déversements, n'ont pas montré un taux de mortalité plus élevé qu'ailleurs.

Rendement en chair: Le rendement en chair pour les moules âgées de 1 an est passé de 52-54 % avant les opérations de dragage à 36,0-48,0 %, 70 jours après le premier déversement. Cependant, la baisse de rendement au cours de cette période augmente avec l'éloignement du point de déversement.

Pour les moules de 2 ans, le rendement en chair a peu changé, passant de 36,5-42,8 % avant les déversements à 32,8-39,1 %, 70 jours après le premier déversement.

Présence de perles: Le nombre moyen de perles dans les moules récoltées à 1/4 et 1/8 de mille du site de déversement le 13 juillet et le 21 septembre pour les moules de 1 an et de 2 ans se situe entre 0,07 et 0,33 perle par moule.

DISCUSSION

SÉDIMENTATION ET DISPERSION DES DÉBLAIS DE DRAGAGE

Lors des déversements de déblais effectués au large de Carleton et de Saint-Godefroi, la présence de couches distinctes de turbidité séparées par une eau de transparence élevée suggère que les matériaux ont conservé une forte cohésion lors de la descente. Les particules les plus denses ont atteint le fond au cours des trois minutes suivant leur mise à l'eau et ont entraîné une réduction maximale de 47 % de la transparence naturelle du milieu. Cette sédimentation rapide s'explique par la texture des matériaux déversés dont la fraction limon-argile, celle qui a tendance à demeurer en suspension plus longtemps, ne représente généralement pas plus que 10 % du poids total des sédiments. Une vitesse de sédimentation rapide a aussi été observée par Wong et al. (1976; cité dans Levings, 1983) pour du sable dragué dans la rivière Fraser en Colombie Britannique. Une autre étude effectuée à Port-Daniel dans la baie des Chaleurs (Les Conseillers Beak Limitée, 1984) où les vitesses de sédimentation ont été déterminées pour des sédiments principalement composés de sable (62 %) indique que 50 % des déblais a atteint directement le fond (profondeur moyenne de 20 mètres) 3 à 7 minutes après le déversement. Après un laps de temps d'environ une heure, la proportion des matériaux déposés sur le fond atteignait 80 %.

La chute des sédiments provoque des courants de fond qui entraînent les matériaux du fond à partir du centre vers la périphérie du site de rejet (Rochon, 1984). Cette remise en suspension d'une partie des sédiments provoque un nuage ou un panache près du fond. Ce phénomène a été observé à quelques reprises lors des rejets aux deux sites à l'étude mais son ampleur était limitée car le panache de fond n'a pas été observé au-delà de 150 m du point d'impact. Une fréquence d'échantillonnage accrue (e.g. toutes les 5 minutes) aurait peut-être permis de mieux suivre l'évolution de la turbidité près du fond quoique sa présence apparaît éphémère. De

plus, l'absence de données sur les courants à plus de 20 mètres de profondeur ne permet pas de déterminer la dispersion précise des sédiments à proximité du fond.

La transparence pré-dragage a été fréquemment observée au site de déversement dès la remontée de l'appareil suggérant ainsi que les particules moins denses n'ayant pas encore atteint le fond ont été rapidement entraînées par les courants. Seulement 20 à 23 % des profils effectués dans un rayon de 1 mille marin du site de rejet et moins de 2 heures après le largage des sédiments ont détecté une réduction de la transparence de l'eau. De plus, les observations effectuées à l'aide de l'échosondeuse à Saint-Godefroi indiquent que les nuages de sédiments étaient de dimension réduite (< 20 m). Ces résultats s'expliquent par la proportion importante de particules qui a sédimenté au site de rejet (estimée à 50-70 %) et au faible volume de sédiments déversé à chaque voyage (48,8 m^3).

Les sédiments déversés à Saint-Godefroi, qui ont à peu près la même texture que ceux de Carleton, n'ont pas été détecté à plus de 0,25 mille marin du site de rejet alors que cette distance atteint 0,75 mille marin à Carleton. Comme la distance parcourue par les sédiments s'accroît avec la vitesse du courant et la profondeur des sites, l'inverse aurait dû être observé. Cette divergence s'explique par l'emplacement des sites d'échantillonnage à Saint-Godefroi. En effet, seulement deux stations fixes ont été régulièrement échantillonnées dans la direction des courants dominants (ENE) et la plus éloignée n'était qu'à 0,25 mille marin du site de rejet. Ainsi, il est fort probable que les sédiments déversés à Saint-Godefroi aient été dispersés jusqu'à 1 mille marin du lieu de rejet compte tenu de la vitesse des courants et de la bathymétrie à ce site.

Il est possible aussi qu'une certaine fraction des matériaux déversés, constituée de très fines particules dont la vitesse de sédimentation est négligeable, soit demeurée en suspension sans être détectée par le turbidimètre compte tenu de la sensibilité de l'appareil. Dans ce cas, la résultante des courants nets non tidaux fait en sorte que toute particule qui demeurerait en suspension au cours d'un cycle complet de marée serait transportée hors du site, le plus fréquemment vers l'aval. Cette circulation résiduelle conjuguée à la sédimentation rapide des particules expliquent qu'aucune augmentation de la turbidité moyenne de l'eau n'ait été observée au site de rejet même après le déversement répété de matériaux pendant plusieurs jours.

EFFET DES DÉVERSEMENTS SUR LA CROISSANCE ET LA MORTALITÉ DES MOULES

La croissance calculée au site de Carleton en 1989 n'a pas divergé de celle observée en 1988 en l'absence d'activité de dragage. Pour le site de Saint-Godefroi, les taux de croissance ne sont pas fonction de la distance séparant chacune des filières du site de déversement. Les déblais de dragage rejetés en mer n'ont donc pas eu d'effet mesurable sur le taux de croissance des moules d'élevage transplantées au voisinage des sites de déversement.

La faible mortalité des moules âgées de un et deux ans suggère qu'elles n'ont subi aucun stress mécanique et physiologique liés à une charge particulaire élevée pouvant résulter des rejets. La mortalité généralement plus élevée aux mois d'août et de septembre pourrait être liée à la période de ponte qui survient autour de la seconde moitié du mois d'août pour les moules d'élevage de Carleton (Bergeron, 1989a,b). Ces valeurs sont toutefois du même ordre de grandeur que celles rapportées pour les moules d'élevage ailleurs dans les Maritimes. En effet, Sutterlin et al. (1981) ont obtenu une mortalité de 6,6 à 8,7 % respectivement pour des moules dont la longueur moyenne initiale est de 2,7 cm ± 0,09 et 5,4 cm ± 0,29 entre le 8 août et le 13 octobre. Sur la côte de Nouvelle-Écosse, Mallet et al. (1987) ont examiné pour 9 sites côtiers la mortalité des moules âgées de 1 an provenant de 11 stocks différents. La mortalité moyenne estivale (juillet à septembre) à tous les sites varie de 4 à 9 % (sauf à un site). Les valeurs obtenues à Saint-Godefroi sont donc typiques de la mortalité naturelle des moules cultivées en supension et n'indiquent aucun effet négatif lié à une charge particulaire élevée.

Des cas de mortalités massives de mollusques d'élevage résultant de la forte turbidité suite à des travaux de dragage ou de rejets des matériaux dragués ont été documentés au Canada (Nouveau-Brunswick; Gracey,

1988), en Italie (Collinson and Rees, 1978) et au Japon (Horiguchi and Maegawa, 1978 cité par Rosenthal, 1983). Cette mortalité élevée est vraisemblablement associée à l'accumulation de particules sur le manteau des bivalves, conduisant ainsi à une réduction marquée des échanges gazeux au niveau des branchies (Collinson and Rees, 1978). Ces derniers auteurs précisent que la concentration élevée de cuivre aurait aussi entraîné une perturbation de l'efficacité de filtration et de respiration.

Aucune accumulation de sédiments n'a été notée sur la chair des moules ou sur les structures d'élevage examinées au cours de cette étude. Il faut de plus noter que les circonstances entourant les mortalités massives rapportées plus haut sont bien différentes de celles décrites pour les sites étudiés dans la baie des Chaleurs. Dans le cas des études au Nouveau-Brunswick et en Italie, ces différences sont: 1) une quantité beaucoup plus importante de sédiments déversés (respectivement 13 000 m^3 et 650 000 tonnes); 2) le dragage était effectué dans un site abrité où les échanges de masses d'eau sont réduits; 3) la faible profondeur des sites (respectivement 5 et 10 m); et 4) la proximité des installations conchylicoles du site de déversement (respectivement 250 et 50 mètres).

L'interprétation des données de croissance et de mortalité des moules doit aussi être faite en fonction de la position des filières par rapport à la trajectoire empruntée par les sédiments. A Carleton, par exemple, les sites T et C ont été placés à plus de 4 milles marins respectivement à l'ouest et au nord-est du site de rejet. Or la circulation nette au cours de la période de déversement fut en direction E et ESE. Il semble ainsi peu probable que ces moules aient été en contact avec les sédiments déversés d'autant plus que la sédimentation et la dispersion quasi-complète des sédiments se produisent à l'intérieur d'un rayon de 1 mille du site de rejet.

A Saint-Godefroi, 5 des 6 filières ont été placées au sud-ouest du site de déversement alors que la circulation nette calculée pour les 12 jours de dragage est en direction est et nord. La transparence enregistrée quotidiennement à ces sites a d'ailleurs toujours été identique à celle observée avant les travaux de dragage. Les filières ne semblent donc pas avoir été fréquemment dans la trajectoire empruntée par les sédiments. Ainsi, la faible mortalité des moules sur l'ensemble des filières n'indique pas nécessairement qu'elles ont montré une tolérance à la turbidité élevée mais plutôt qu'elles n'ont pas eu à faire face à de telles conditions.

EFFET DES DÉVERSEMENTS SUR LE TAUX DE FILTRATION DES MOULES

Le taux de filtration moyen calculé au 17 juin au large de Carleton laisse croire que le déversement des sédiments aurait pu affecter de façon significative les moules. L'examen de la réponse fonctionnelle des moules à la fluorescence laisse cependant place à une interprétation différente. En effet, le taux de filtration montre un maximum aux environs de 4 - 5 unités de fluorescence. Or ce niveau de fluorescence correspond à celui observé le 13 juin, avant les opérations de dragage. Les observations du 13 juin furent faites sous des conditions amenant une réponse maximale des moules, contrairement aux conditions prévalant lors des autres sorties. Par conséquent, il se peut que la diminution du taux de filtration lors des jours de déversement n'ait été due qu'au fait que les concentrations de chlorophylle résultaient en des taux de filtration moindres et n'ait aucun lien avec le déversement des déblais de dragage. Cette interprétation n'est valable que si l'on suppose que la relation entre le taux de filtration et la fluorescence est la même selon qu'il y ait ou non déversement. Les observations ci-dessus ne sont donc tout au plus qu'en concordance avec l'hypothèse d'une absence d'effet des déversements.

L'interprétation des taux de filtration présentés ici se heurte toutefois au problème des témoins dans un tel type d'étude. En effet, il aurait fallu que la réponse fonctionnelle des moules en fonction de la concentration de différentes classes de particules (phytoplancton, sédiments en suspension, etc.) soit connue avant le début des travaux. Pour les suivis futurs, de telles informations permettraient simplement de suivre et quantifier la concentration et la dispersion des particules et, à partir de cela, connaître la réponse probable des moules sans que l'on ait à la mesurer à chaque fois. Il semble donc que les informations disponibles pour l'instant dans la littérature et dans la présente étude ne puissent

permettre que des extrapolations douteuses pour la prédiction du taux de filtration des moules face à des conditions difficiles.

CONCLUSION

La faible quantité des sédiments déversés, leur sédimentation rapide et le renouvellement de la masse d'eau à chaque cycle de marée font en sorte que: 1) l'accroissement de la turbidité de l'eau est de très courte durée; et 2) la dimension des nuages de sédiments est restreinte. La déposition sur le fond et la dispersion complète de la masse de sédiments se produisent à l'intérieur d'un rayon estimé à 1 mille marin du site de dépôt. A partir de ces résultats, une distance de 1 mille marin en périphérie du site de déversement semble être une valeur acceptable pour s'assurer qu'une production commerciale de mollusques ne soit pas affectée par le passage d'une masse d'eau de forte turbidité. Ce périmètre de sécurité ne s'applique toutefois que lorsque les opérations de déversement (utilisation d'une drague mécanique, quantité et texture des sédiments déversés) et les conditions hydrologiques (vitesse et direction des courants, profondeur du site de rejet) sont semblables à celles décrites dans cette étude. Dans le cas de baies abritées et de lagunes où les courants, la profondeur et les échanges de masses d'eau sont plus faibles que ceux observés dans les sites en mer ouverte, la turbidité causée par le déversement de déblais de dragage pourrait persister plus longtemps. Dans ces circonstances, des effets liés au temps d'exposition des moules à une charge particulaire élevée seraient vraisemblablement plus marqués.

L'utilisation d'un seul turbidimètre déployé à des stations fixes au cours de cette étude n'a pas permis de décrire la forme et la trajectoire exactes du cône de dispersion des sédiments déversés. L'échantillonnage simultané à deux ou trois positions différentes ainsi qu'une évaluation de la vitesse de sédimentation des matériaux et de la concentration de la matière particulaire devraient être effectués au cours des suivis futurs pour mieux caractériser la dispersion des matériaux.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la firme "Les Produits Baie Bleue" de Saint-Omer pour l'étroite collaboration accordée au cours de cette étude ainsi que la Direction de la recherche du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation pour l'utilisation de son laboratoire à Gaspé.

RÉFÉRENCES

Beak Limitée, Les Conseillers, 1984. Étude préliminaire d'impact environnemental des activités d'immersion de déchets en mer aux sites de Grande-Rivière et Port Daniel. Rapport final préparé pour Pêches et Océans Canada et Environnement Canada. vi + 66 p.

Bergeron, P., 1989a. Évolution temporelle du recrutement de Mytilus edulis à Carleton et effet de la prolifération du naissain sur le rendement commercial des boudins. Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation. Document de recherche 89/03. viii + 53p.

Bergeron, P., 1989b. Évaluation des conditions de croissance et de la durée du cycle de production de la moule bleue sur filières flottantes dans la baie Tracadigache (baie des Chaleurs). Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation. Document de recherche 89/15. x + 71p.

Collinson, R.I. and C.P. Rees, 1978. Mussel mortality in the Gulf of La Spezia, Italy. Mar. Pollut. Bull. 9: 99-101.

Cummins, K.W., 1962. An evaluation of some techniques for collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Am. Midl. Nat. 67: 477-504.

Fréchette, M. and E. Bourget, 1985. Energy flow between the pelagic and benthic zones: factors controlling particulate organic matter available to an intertidal mussel bed. Can. Fish. Aquat. Sci. 42: 1158-1165.

Environnement Canada, 1987. Rapport annuel: activités d'immersion de déchets en mer. Direction de la protection de l'environnement. 5 p. + annexes.

Gracey, J., 1988. Mussels ruined in New-Brunswick. Canadian Aquaculture, Vol. 4 No. 1.

Horiguchi, Y. and M. Maegawa, 1978. Studies on marine environments and mariculture resources in the waters around Zaga-shima (Ago-Bay). III. Effects of dredging works upon growth and mortality of operated pearl oyster and quality of pearl. Rep. Fish. Res. Lab. Mie Univ. 1: 31-38.

Lambert, J.-D., 1983. Contribution à l'étude des communautés planctoniques de la baie des Chaleurs. Thèse de maîtrise (océanographie). Université du Québec à Rimouski. xi + 131p.

Levings, C.D., 1983. Les conséquences écologiques du dragage et de l'élimination des résidus du dragage dans les eaux canadiennes. Conseil national de recherches du Canada, Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'environnement. Publ. n° 18131, 150 p. + vi.

Mallet, A.L., C.E.A. Carver, S.S. Coffen and K.R. Freeman, 1987. Mortality variations in natural populations of the blue mussel, Mytilus edulis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 1589-1594.

Pêches et Océans Canada, 1989. Table des marées et courants du Canada. Volume 2, Golfe du Saint-Laurent. Service hydrographique du Canada. xxii + 41 pp.

Phinney, D.A. and C.S. Yentsch, 1985. A novel phytoplankton chlorophyll technique: Towards automated analysis. J. Plankton Res. 7: 633-642.

Rochon, R., 1984. Problématique des activités de dragage: revue de la situation et des méthodes, et détermination des secteurs de recherche prioritaires pour le Saint-Laurent. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. SPE 4/MA/1. 80 p.

Rosenthal, H., 1983. Coastal aquaculture and water quality in protected bays of Japan. ICES Mariculture committee, C.M. 1983/ E: 22.

Sutterlin, A., D. Aggett, C. Couturier, R. Scaplen and D. Idler, 1981. Mussel culture in Newfoundland waters. Mar. Sci. Res. Lab. Tech. Rep. No. 23, Memorial University of Newfoundland, St-John's, Nfld, 82 pp.

Wong, C.S., J. Dobrocky, R.W. Macdonald, D. Morse, R. Hoos, R. Berrang and D. Thomas, 1976. Chemical studies on ocean dumping. IN: Proc. Workshop on ocean dumping investigations, May 10-11, 1976. Convened by R.O. Brinkhurst, R.A. Hoos and C.D. Levings. (Unpublished manuscrit). Institute of Ocean Sciences, Sidney, B.C. pp. 3-8.

Tableau 1. Vitesses moyennes des courants (cm/s) et de leurs composantes U et V calculées sur un cycle complet de marée pour les 7 jours pendant lesquels les déversements ont été effectués au large de Carleton.

DATE	PARAMÈTRE		
	VITESSE* (cm/s)	U (cm/s)	V (cm/s)
15-06	8,6	8,3	-2,2
16-06	12,5	11,9	-3,2
17-06	10,1	9,5	-2,7
18-06	11,9	11,2	-3,3
19-06	13,3	12,5	1,2
20-06	10,9	10,1	-0,2
21-06	10,7	9,9	-4,2

* Les vitesses moyennes ont été calculées pour une profondeur de 10 m à partir de lectures effectuées toutes les 20 minutes.

Tableau 2. Mortalité des moules d'élevage suspendues à trois sites au cours des déversements de déblais de dragage à Carleton.

SITE	JOUR DE RÉCOLTE	CAGE N°	NOMBRE INITIAL	MORTALITÉ (%)
déversement	+2	1	30	0,0
		2	30	0,0
Baie Tracadigache	+2	1	30	0,0
		2	31	0,0
Baie Cascapédia	+2	1	30	0,0
		2	29	3,4
déversement	+4	1	30	0,0
		2	30	0,0
Baie Tracadigache	+4	1	30	0,0
		2	30	0,0
Baie Cascapédia	+4	1	30	0,0
		2	29	0,0
déversement	+6	1	30	0,0
		2	30	0,0
Baie Tracadigache	+6	1	30	0,0
		2	30	0,0
Baie Cascapédia	+6	1	30	3,3
		2	30	0,0
déversement	+29	1	30	3,3
		2	30	3,3
Baie Tracadigache	+29	1	30	0,0
		2	30	0,0
Baie Cascapédia	+31	-*	-	-
déversement	+90	-*	-	-
Baie Tracadigache	+90	1	30	10,0
		2	30	3,3
Baie Cascapédia	+90	1	30	3,3
		2	30	3,3

* Échantillons perdus

Tableau 3. Taux de filtration moyen (litre par gramme de poids sec par minute) calculé à partir des mesures effectuées à 10 minutes d'intervalle sur deux groupes de six moules lors des cinq sorties en mer à Carleton.

DATE	TAUX DE FILTRATION (l/g/min)	
89-06-13	0,122	0,109
89-06-15	0,101	0,073
89-06-17	0,034	0,053
89-06-19	0,070	0,095
89-06-21	0,060	0,093

Tableau 4. Analyse de variance des taux de filtration et test des différences entre la sortie témoin (13 juin) et les autres sorties prises deux à deux. Le terme d'erreur pour les tests est la variance des répliquats.

SOURCE DE VARIATION	DF	SS	MS	VALEUR DU F	
Modèle	9	0,1744	0,0194	3,31	**
Erreur	270	1,5787	0,0058	-	
Total	279	-	-	-	
Date	4	0,1328	0,0332	5,68	**
Répliquat (date)	5	0,0416	0,0083	1,42	
13 juin vs 15 juin	1	0,0214	0,0214	2,58	
13 juin vs 17 juin	1	0,1250	0,1250	15,06	*
13 juin vs 19 juin	1	0,0285	0,0285	3,43	
13 juin vs 21 juin	1	0,0300	0,0300	3,61	

(* : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$)

Tableau 5. Régression multiple polynomiale entre le taux de filtration (VB) d'une part et la fluorescence environnante (FENV) et le temps écoulé depuis un déversement donné (TDDD) d'autre part. L'équation est de la forme générale suivante: $VB = b\,(FENV) + c\,(FENV)^2 + d\,(TDDD) + e\,(TDDD)^2 + a$. L'ordonnée à l'origine n'est pas significativement différente de 0 ($P < 0,05$).

SOURCE DE VARIATION	DF	SS	MS	VALEUR DU F
Modèle	4	0,0436	0,0109	2,18
Erreur	233	1,1648	0,0050	-
Total (corrigé)	237	-	-	-
FENV	1	0,0195	0,0195	3,91 *
$FENV^2$	1	0,0199	0,0199	3,99 *
TDDD	1	0,0119	0,0119	2,39
$TDDD^2$	1	0,005	0,005	1,02

* $P < 0,05$

Tableau 6. Vitesses moyennes des courants (cm/s) et de leurs composantes U et V calculées sur un cycle complet de marée pour les 12 jours pendant lesquels les déversements ont été effectués au large de Saint-Godefroi.

DATE	PARAMÈTRE		
	VITESSE* (cm/s)	U (cm/s)	V (cm/s)
13-07	15,6	-5,9	5,3
14-07	18,2	3,4	6,4
17-07	19,9	15,6	5,6
18-07	16,9	5,9	7,2
19-07	26,3	23,7	5,6
20-07	30,5	27,3	9,5
21-07	31,7	-4,4	6,0
24-07	32,6	-23,0	21,8
25-07	23,3	-1,2	5,1
26-07	14,5	1,3	4,7
27-07	10,9	2,1	5,6
28-07 **	6,9	0,6	2,7

* Les vitesses moyennes ont été calculées par une profondeur de 8,5 m (à l'exception du 28 juillet) à partir des lectures effectuées toutes les 5 minutes.

** Enregistrements effectués à une profondeur de 18,5 m sous le niveau de référence marégraphique.

Tableau 7. Taux de croissance instantané (lnl_t - lnl_o/D X 10^{-3}) pour les moules d'élevage de Carleton âgées de 1 (caractère standard) et 2 ans (caractère souligné) selon la distance qui les sépare du site de rejet. Les récoltes ont été effectuées 14, 28 et 70 jours après le premier jour de déversement. Deux échantillons ont été recueillis à chaque récolte. L'absence d'échantillon est due au bris de certaines filières suite au vandalisme ou à un ancrage défectueux.

DATE DE RÉCOLTE	SITE											
	1/8 M*		3/16 M*		3/8 M*		1/2 M*		1 M*		2 M*	
27 juillet (jour +14)	3,7	0,9	3,8	0,9	5,9	0,3	2,5	1,5	2,9	1,2	3,6	0,9
10 août (jour +28)	2,7	0,9	3,2	1,4	-	-	2,3	1,0	2,2	0,7	2,7	1,1
21 septembre (jour +70)	3,8	1,4	3,3	1,4	-	-	3,2	1,2	2,9	1,0	-	-

*M = mille marin

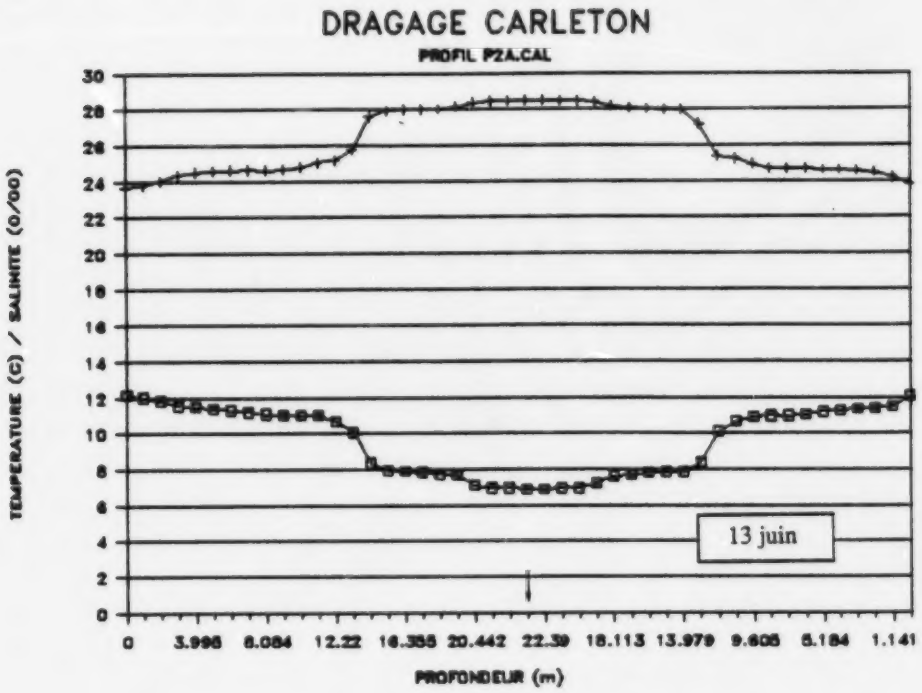
Tableau 8. Mortalité moyenne (%) des moules d'élevage âgées de un (caractère standard) et deux ans (caractère souligné) au cours des déversements de déblais de dragage à Saint-Godefroi. Le nombre de cages recueillies est de deux sauf lorsqu'indiqué. Chaque cage contient un nombre initial de 30 moules. Les sites sont identifiés par la distance les séparant du site de rejet.

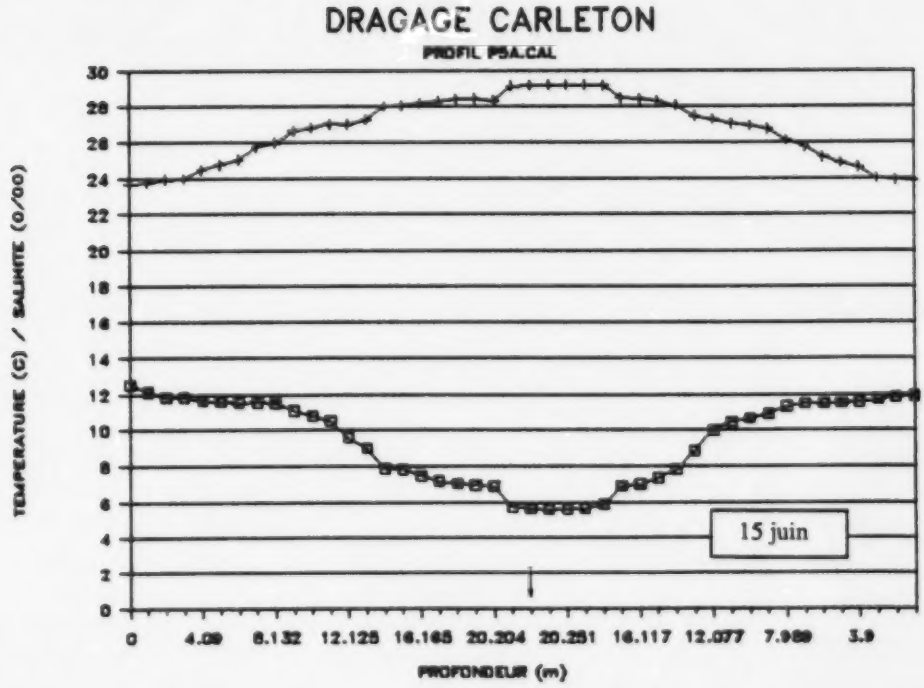
SITE	JOUR DE RÉCOLTE				
	0	+14	+28	+70	
1/8 M**	5,0	3,3	3,3	4,2	*
	0,0	1,7	0,0	0,8	*
3/16 M	1,7	0,0	1,7	4,2	*
	1,7	0,0	0,0	3,3	*
3/8 M	0,0	0,0	-	-	
	0,0	1,7	-	-	
1/2 M	0,0	1,7	3,3	7,5	*
	-	0,0	1,7	0,0	
1,0 M	0,0	1,7	6,7	1,7	*
	-	3,3	1,7	2,5	
2,0 M	0,0	0,0	1,7	-	
	1,7	0,0	0,0	-	

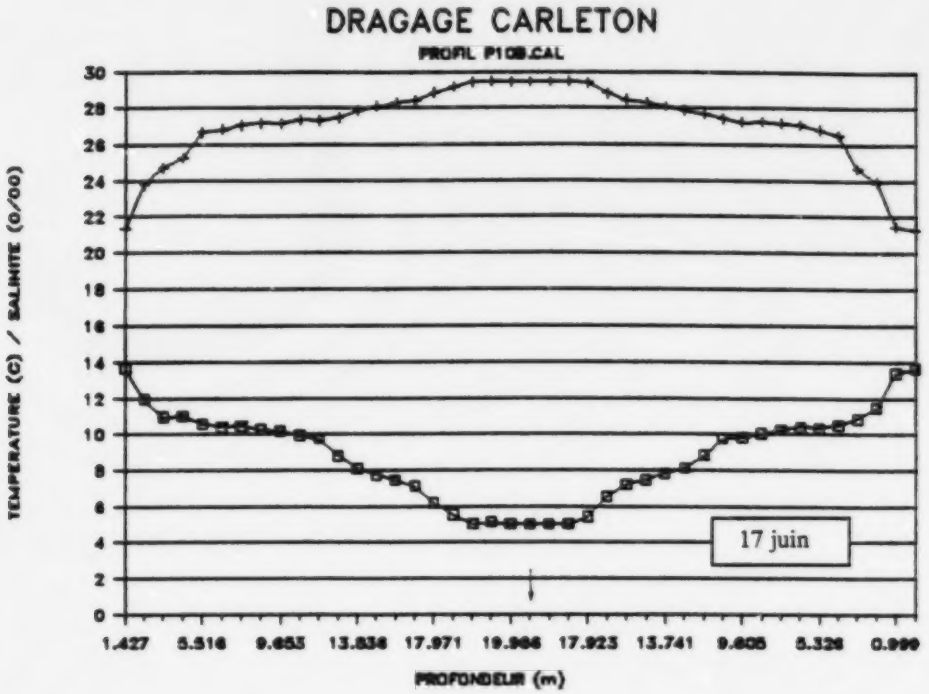
* 4 cages recueillies
** M: mille marin

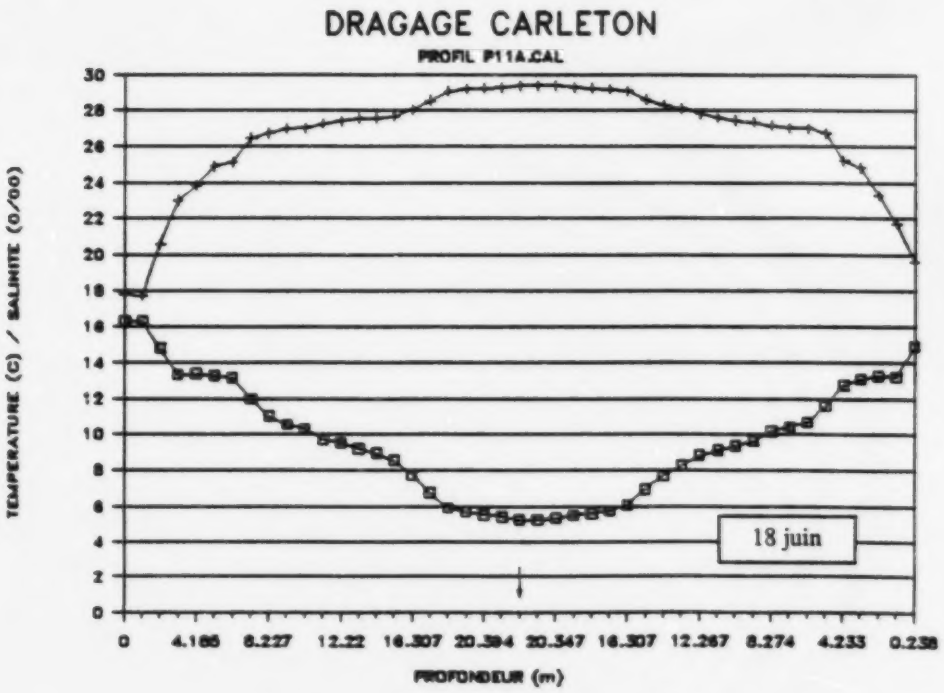
ANNEXE 1

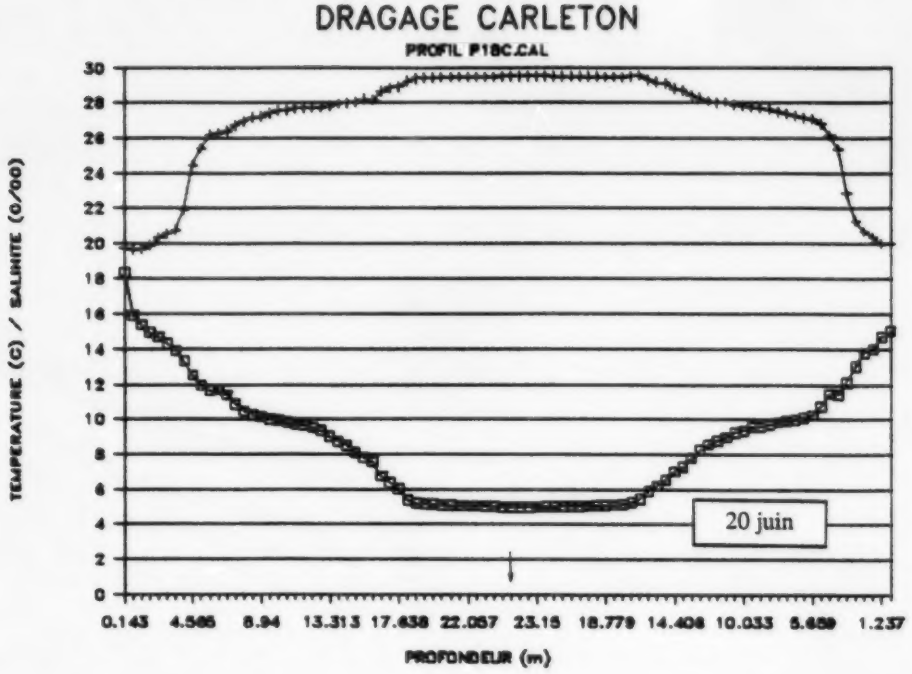
PROFILS VERTICAUX DE TEMPÉRATURE (°C) ET DE SALINITÉ À PROXIMITÉ DU SITE DE DÉVERSEMENT

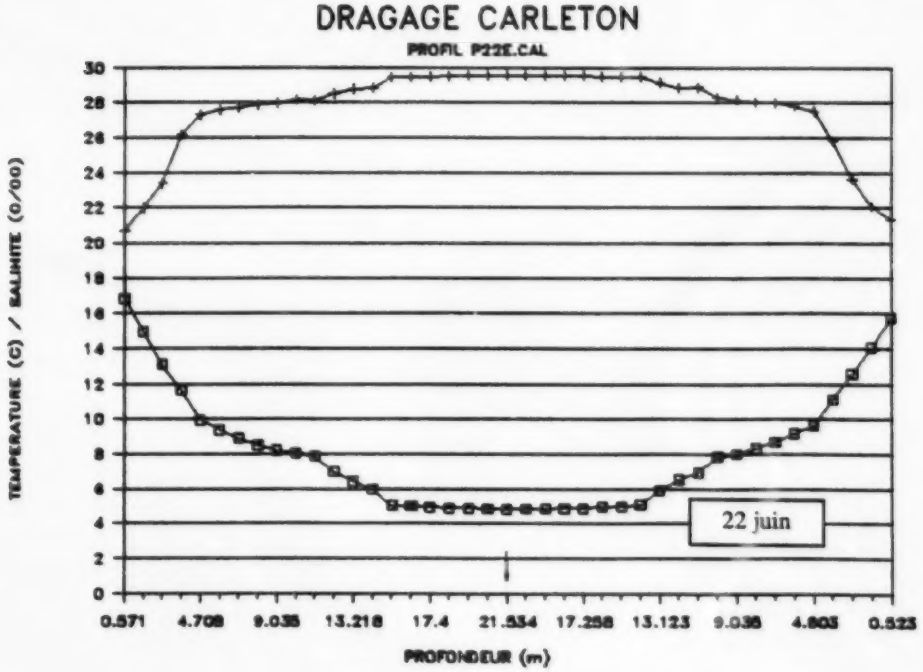

DRAGAGE CARLETON
PROFIL P2A.CAL
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
13 juin
0
3.998
8.084
12.22
16.355
20.442
22.39
18.113
13.979
9.606
5.184
1.141
PROFONDEUR (m)


DRAGAGE CARLETON
PROFIL P5A.CAL
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
15 juin
0
4.09
8.132
12.125
16.165
20.204
20.251
16.117
12.077
7.989
3.9
PROFONDEUR (m)

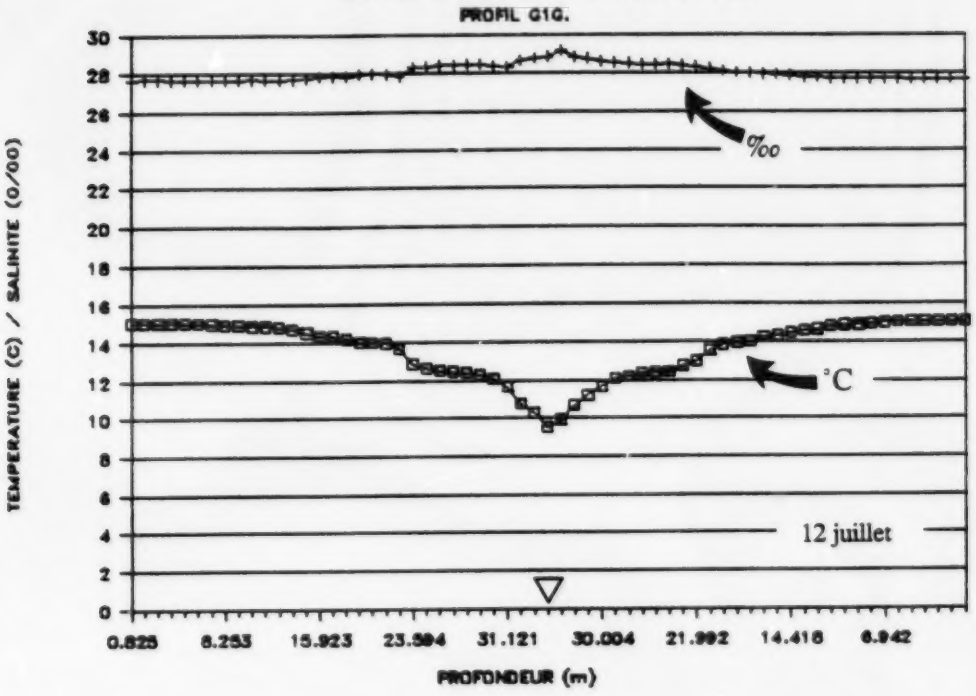

DRAGAGE CARLETON
PROFIL P10B.CAL
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1.427
5.516
9.653
13.836
17.971
19.986
17.923
13.741
9.605
5.326
0.999
PROFONDEUR (m)
17 juin

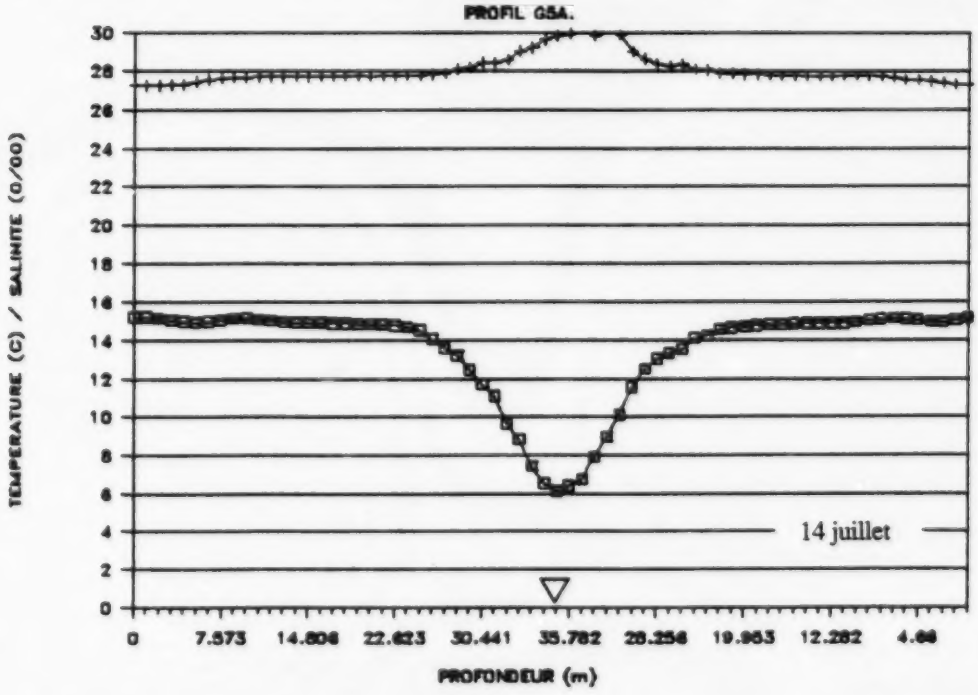

DRAGAGE CARLETON
PROFIL P11A.CAL
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
4.166
8.227
12.22
16.307
20.394
20.347
16.307
12.267
8.274
4.233
0.238
PROFONDEUR (m)
18 juin

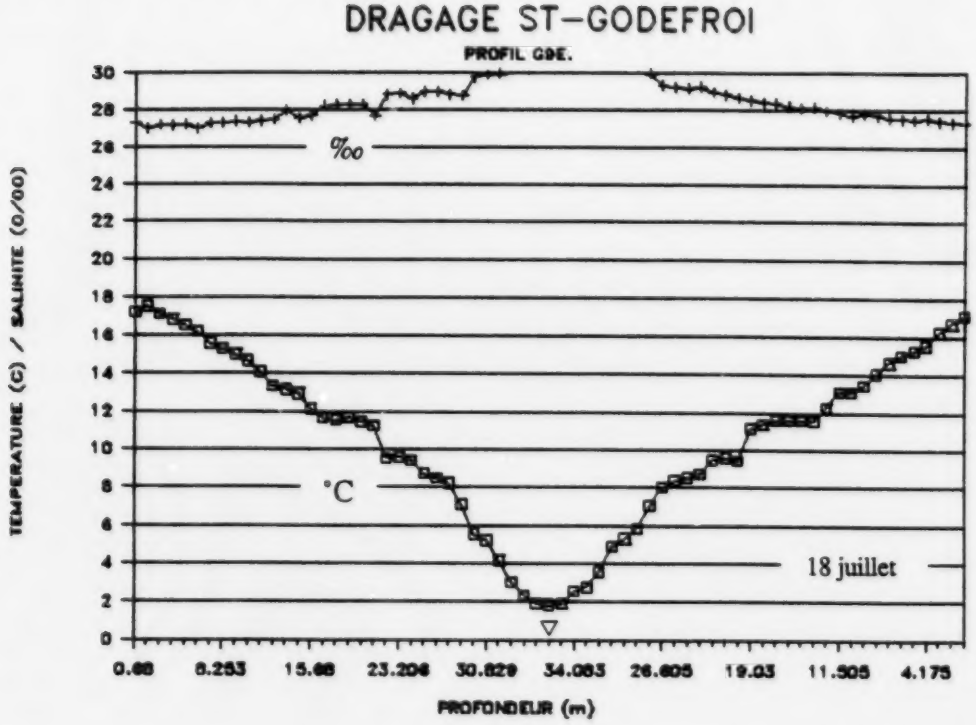

DRAGAGE CARLETON
PROFIL P18C.CAL
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
20 juin
0.143 4.586 8.94 13.313 17.638 22.057 23.15 18.779 14.406 10.033 5.659 1.237
PROFONDEUR (m)

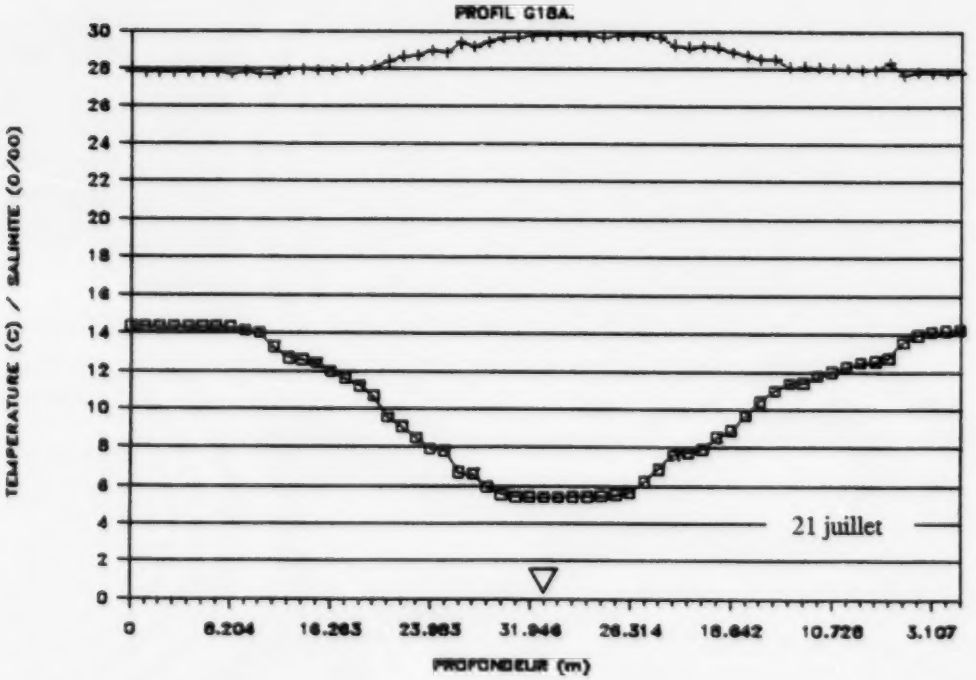

DRAGAGE CARLETON
PROFIL P22E.CAL
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
22 juin
0.571 4.709 9.035 13.218 17.4 21.534 17.258 13.123 9.035 4.803 0.523
PROFONDEUR (m)

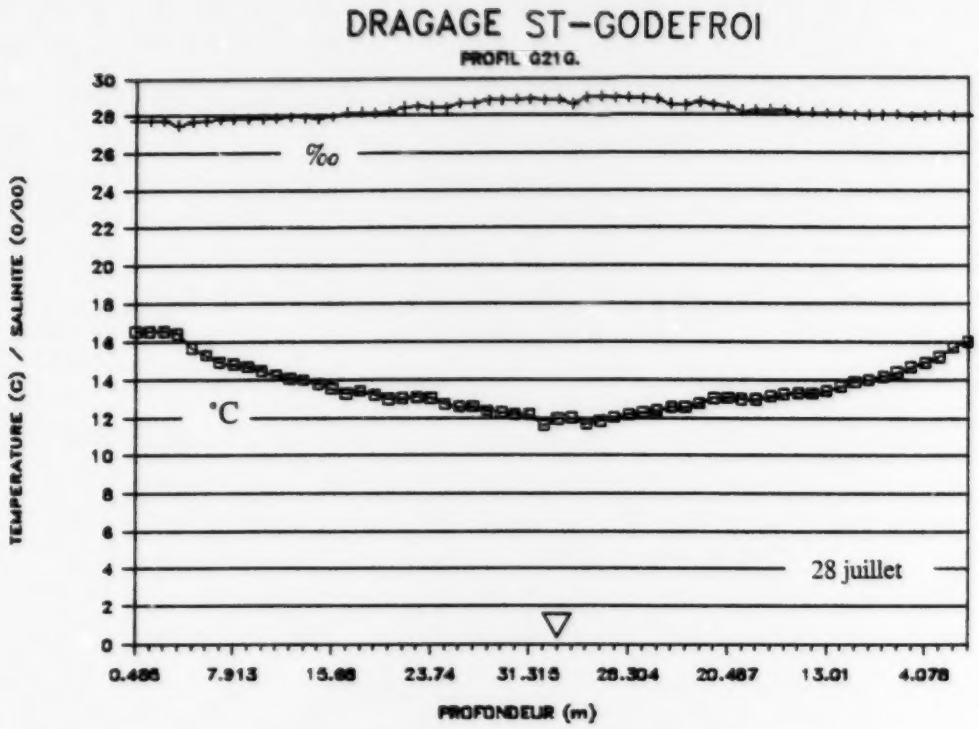
DRAGAGE ST-GODEFROI

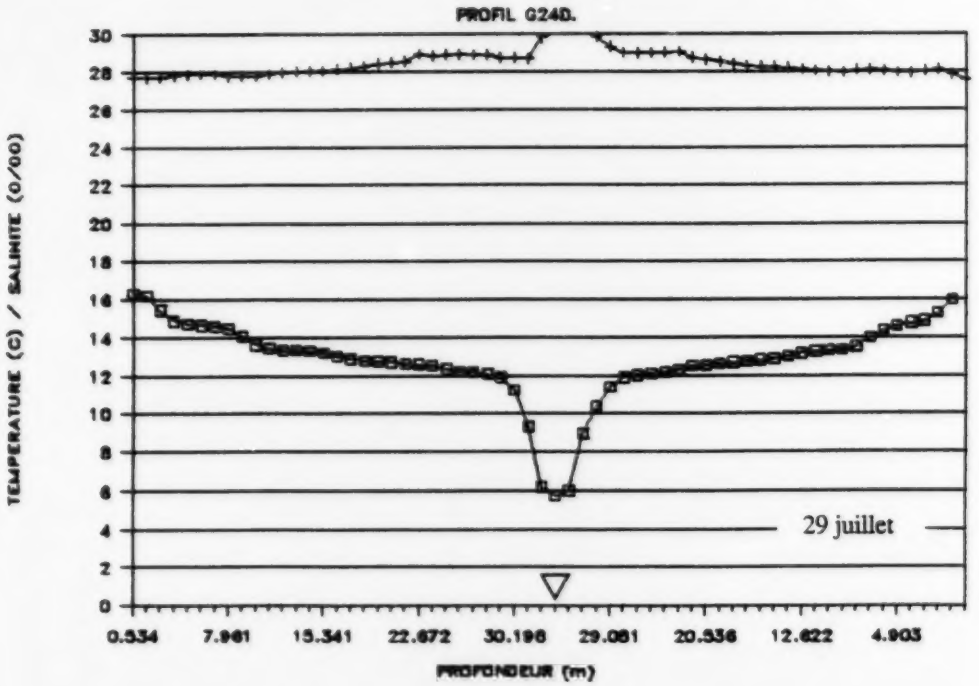





DRAGAGE ST-GODEFROI
PROFIL GDE.
‰
°C
18 juillet
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
PROFONDEUR (m)
0.68
8.253
15.68
23.206
30.829
34.083
26.605
19.03
11.505
4.175


PROFIL G18A.
21 juillet
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
PROFONDEUR (m)
0
8.204
16.263
23.983
31.946
26.314
18.642
10.726
3.107


DRAGAGE ST-GODEFROI
PROFIL G21G.
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
‰
°C
28 juillet
0.486
7.913
15.68
23.74
31.315
28.304
20.487
13.01
4.078
PROFONDEUR (m)


PROFIL G24D.
TEMPERATURE (C) / SALINITE (0/00)
29 juillet
0.534
7.961
15.341
22.672
30.196
29.081
20.536
12.622
4.903
PROFONDEUR (m)

ANNEXE 2

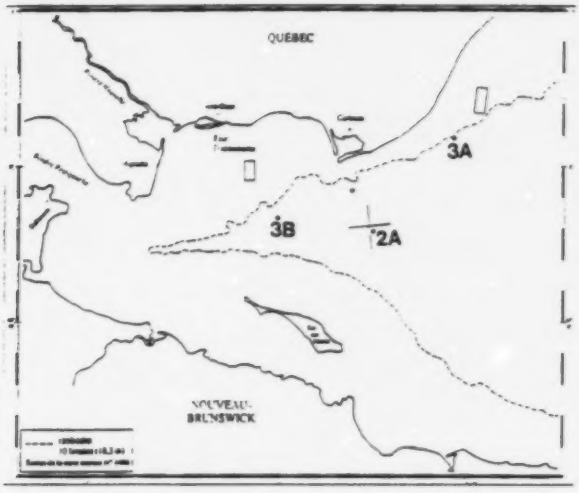
LOCALISATION DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE À CARLETON ET DESCRIPTION DE LA TRANSPARENCE MESURÉE AVANT ET PENDANT LES DÉVERSEMENTS

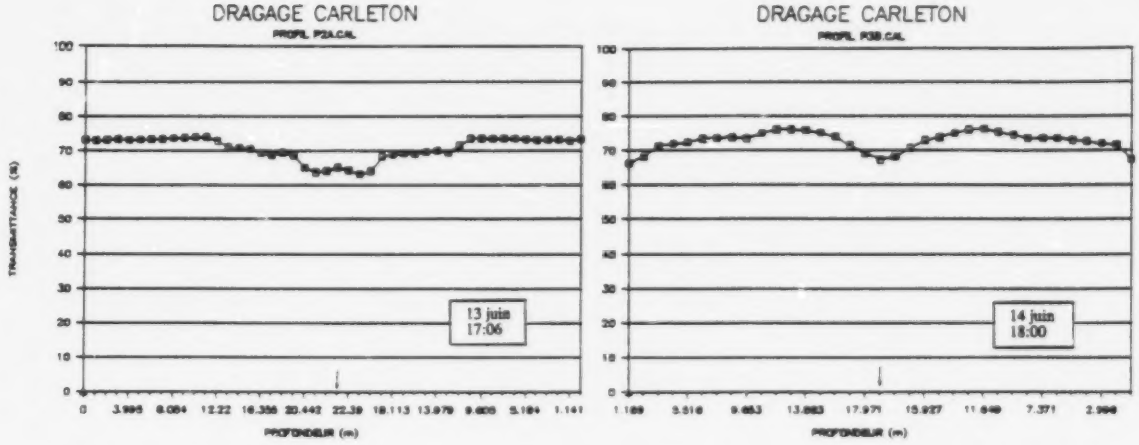
NOTES EXPLICATIVES

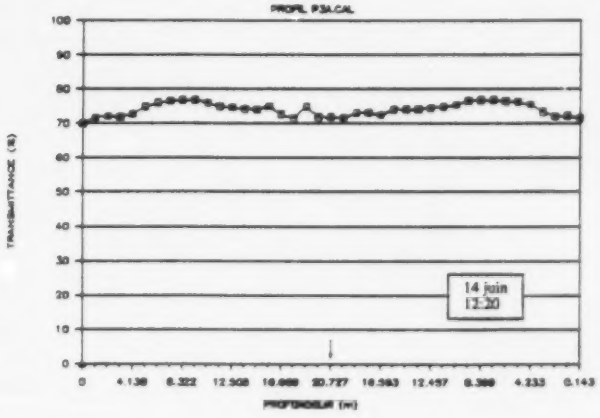
Les profils verticaux effectués avec le STD-Turbidimètre sont présentés sous forme de courbes de la transparence (%) en fonction de la profondeur (m).

Le numéro de chaque profil apparaît au-dessus de chaque graphique (P2A, P12C). La profondeur inscrite en abcisse correspond à la descente et à la remontée de l'appareil lors des enregistrements. La profondeur maximale atteinte par l'appareil (indiquée par la pointe de flèche) se retrouve donc au centre de l'abscisse et c'est ce qui explique la symétrie des courbes. La fréquence d'échantillonnage du STD a été fixée à 1 m pour tous les profils sauf les n° 16 et 18 où la fréquence est de 0,5 m.

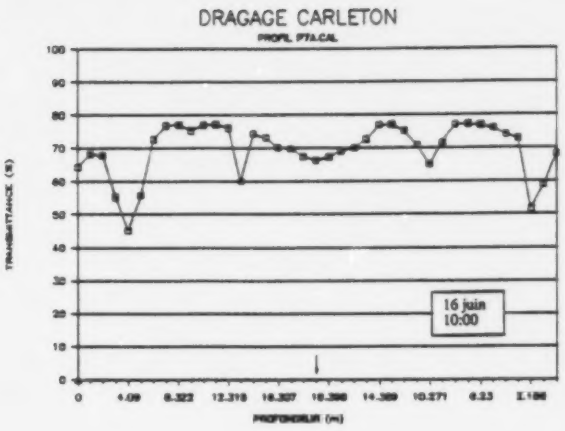
Les profils n° 7A, 12C, 14A et 16A ont été sélectionnés pour illustrer la turbidité enregistrée simultanément au déversement. Les autres profils sont regroupés pour 5 des 22 déversements étudiés et leur localisation le long des deux radiales est indiquée au-dessus des courbes. La date et l'heure d'échantillonnage (heure avancée de l'est) sont indiquées pour chaque profil dans le rectangle de gauche. L'heure et l'état de la marée sont indiqués au haut de la page à droite. Les valeurs moyennes de la vitesse et de la direction des courants à 10 m de profondeur au site Co calculées pour la période séparant le premier et le dernier trait illustrés sont indiquées par un vecteur dont le point d'origine correspond au site de déversement .

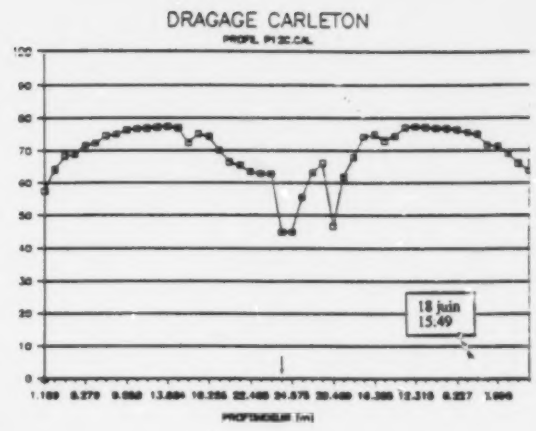


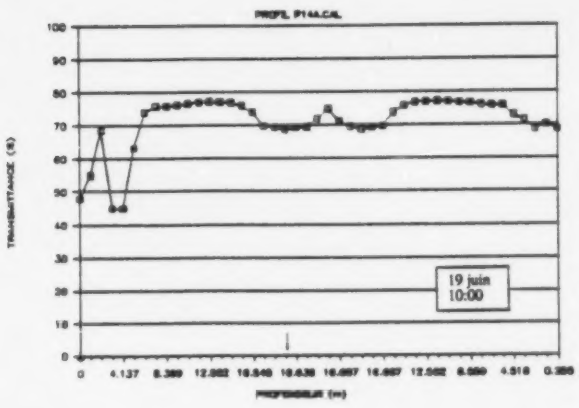


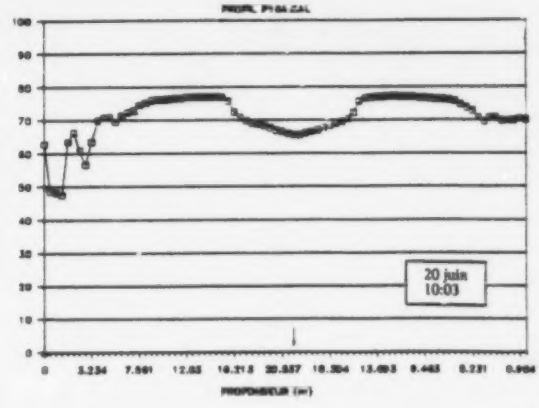


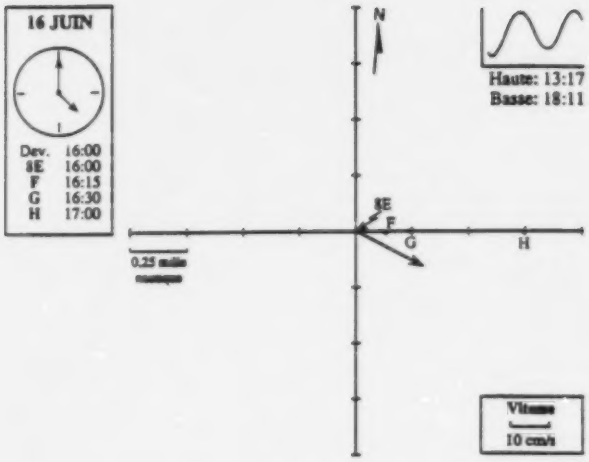
PROFILS PRÉ-DRAGAGE

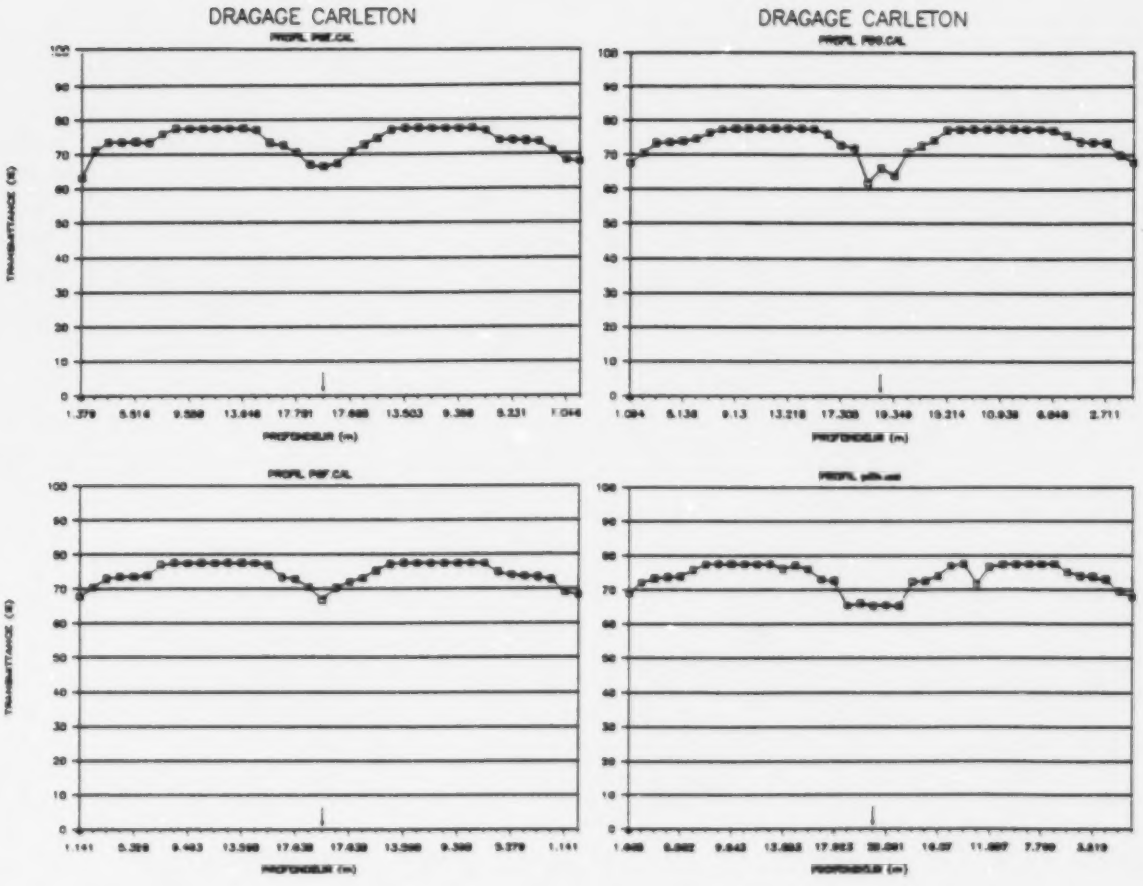

DRAGAGE CARLETON
16 juin
10:00

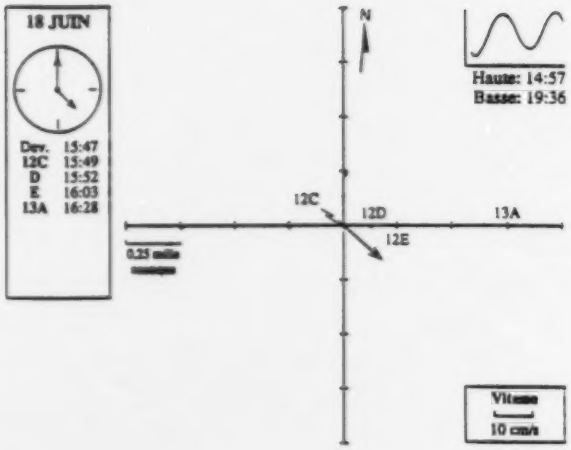

DRAGAGE CARLETON
18 juin
15.49

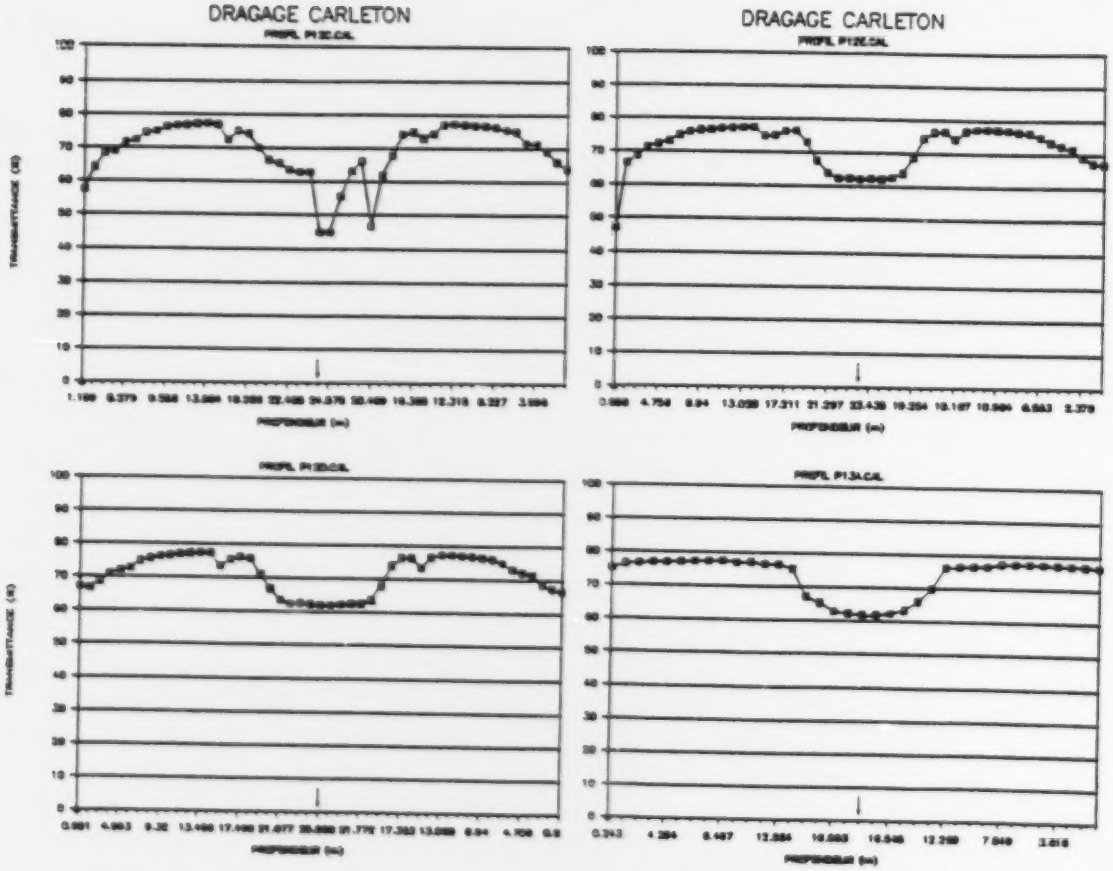

19 juin
10:00

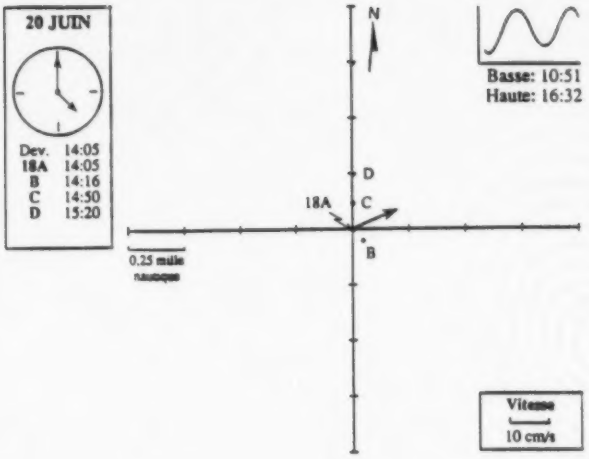

20 juin
10:03

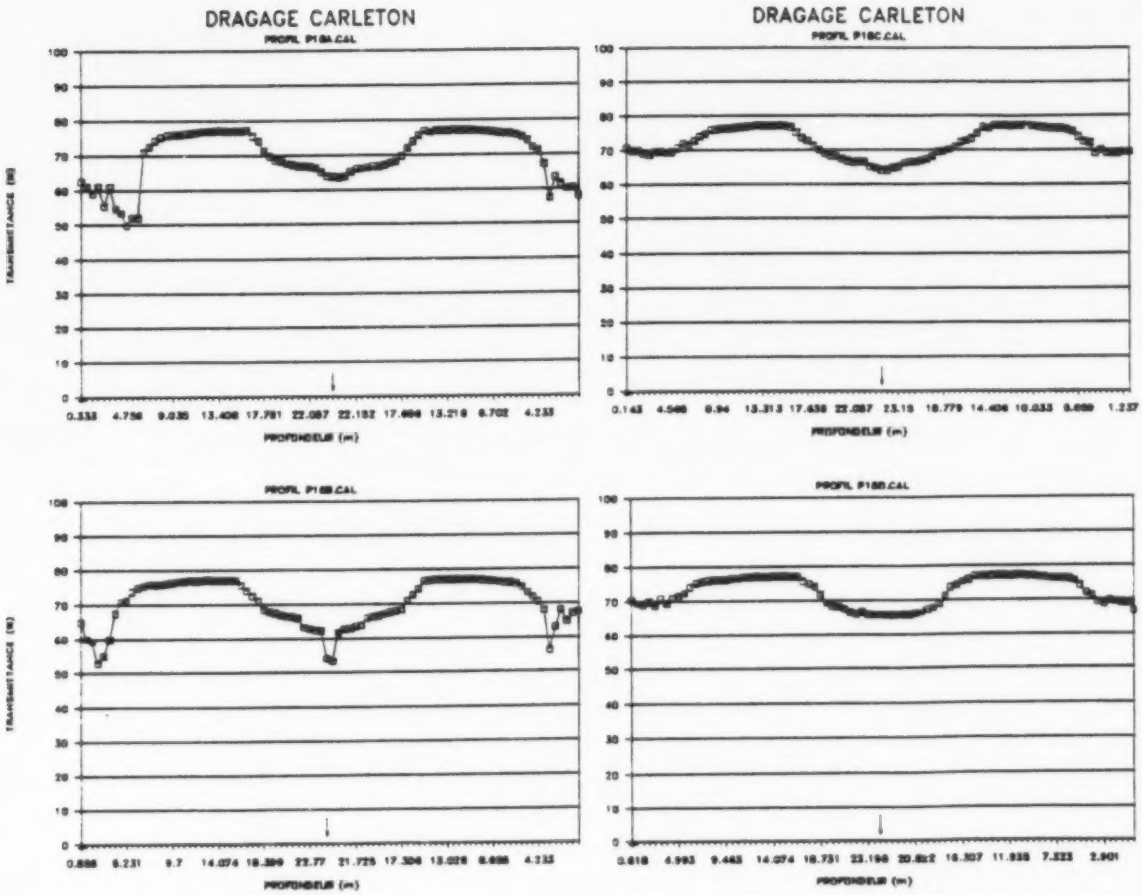

16 JUIN
Dev. 16:00
8E 16:00
F 16:15
G 16:30
H 17:00
N
8E
F
G
H
0.25 mille nautique
Haute: 13:17
Basse: 18:11
Vitesse
10 cm/s

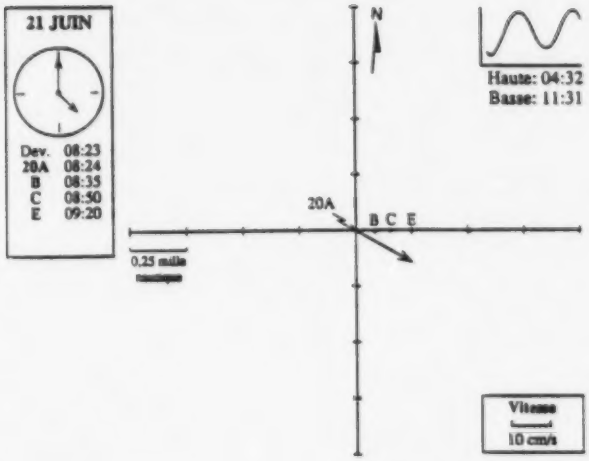

DRAGAGE CARLETON
DRAGAGE CARLETON

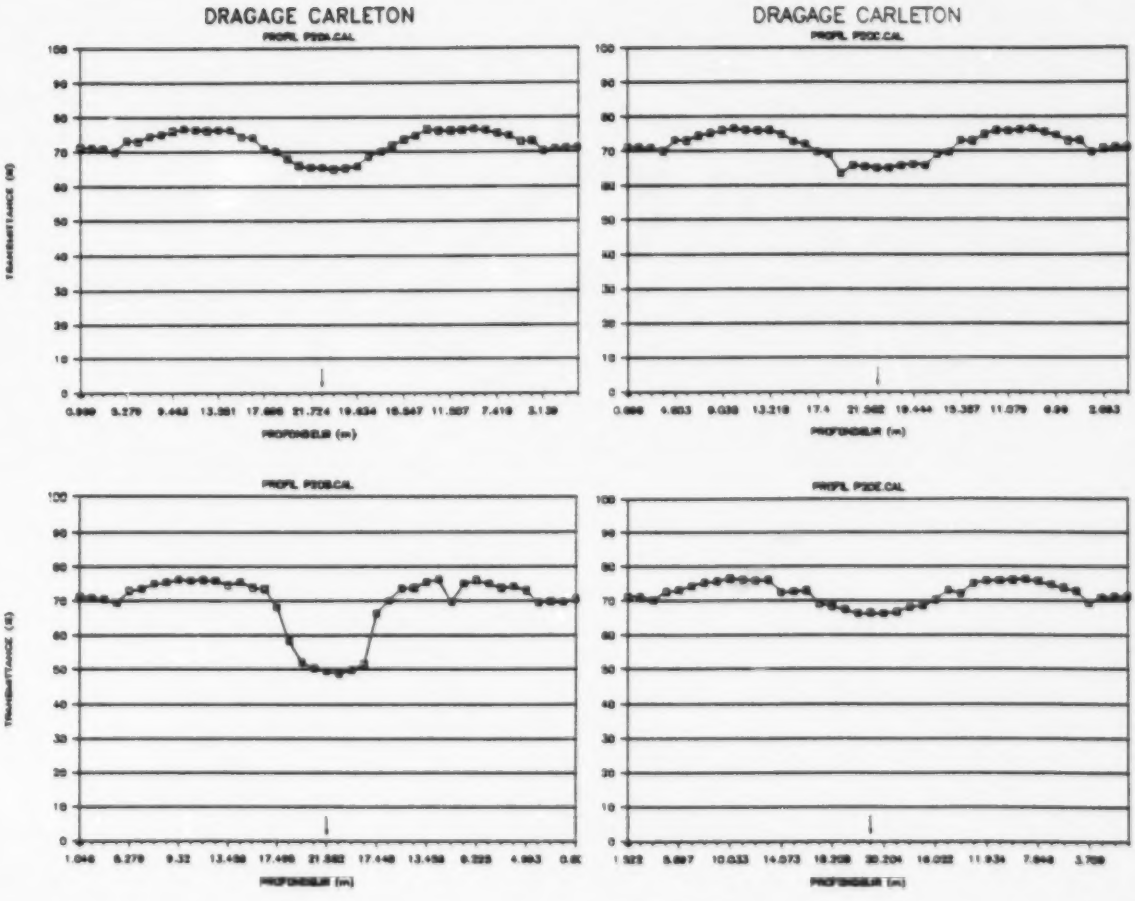

18 JUIN
Dev. 15:47
12C 15:49
D 15:52
E 16:03
13A 16:28
N
Haute: 14:57
Basse: 19:36
12C
12D
13A
12E
0.25 mille
Vitesse
10 cm/s

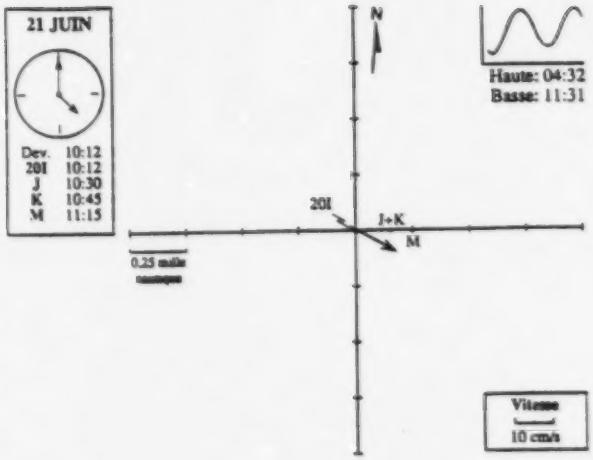

DRAGAGE CARLETON
DRAGAGE CARLETON
TRANSMITTANCE (%)
PROFONDEUR (m)

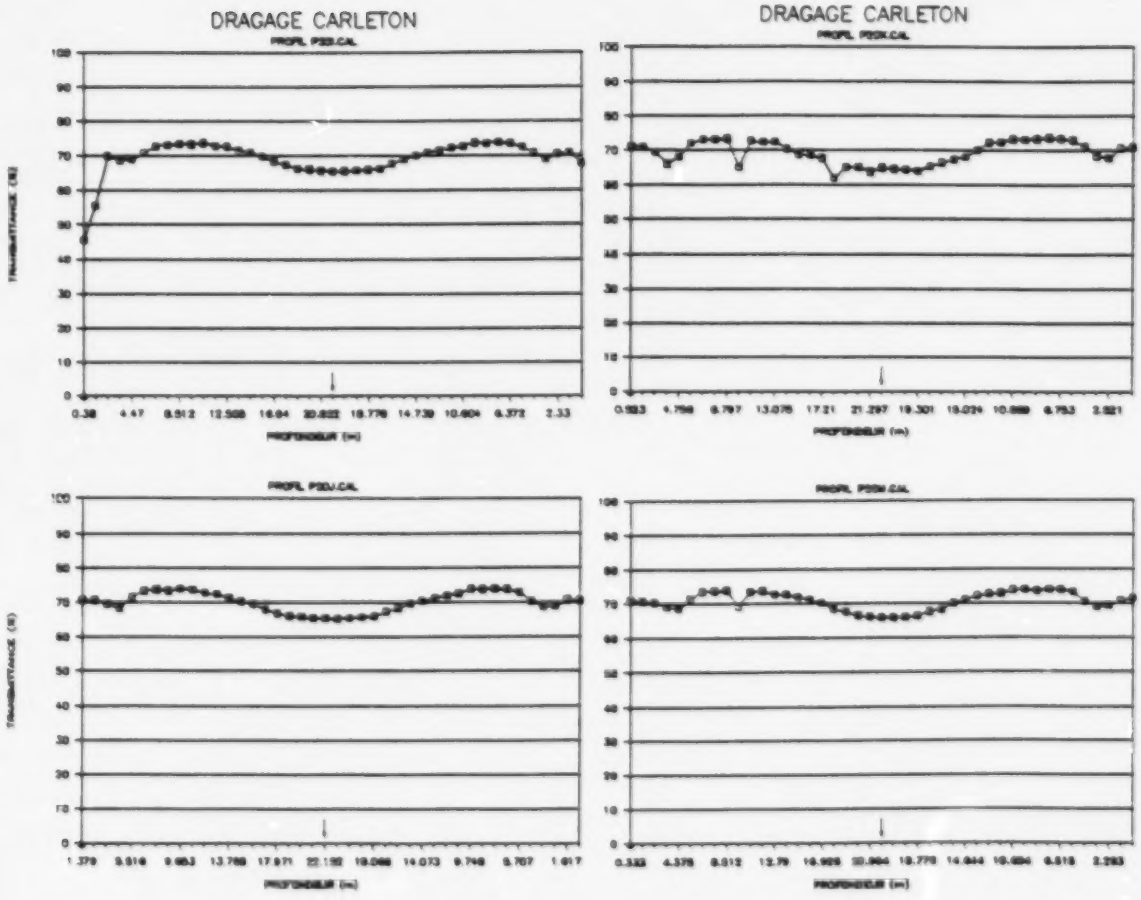

20 JUIN
Dev. 14:05
18A 14:05
B 14:16
C 14:50
D 15:20
N
D
C
18A
B
0.25 mille nautique
Basse: 10:51
Haute: 16:32
Vitesse
10 cm/s


DRAGAGE CARLETON
DRAGAGE CARLETON


21 JUIN
Dev. 08:23
20A 08:24
B 08:35
C 08:50
E 09:20
N
Haute: 04:32
Basse: 11:31
20A
B C E
0.25 mille
Vitesse
10 cm/s


DRAGAGE CARLETON
DRAGAGE CARLETON
PROFIL PSDA.CAL
PROFIL PSDC.CAL
PROFIL PSDB.CAL
PROFIL PSDE.CAL
TRANSMITTANCE (%)
PROFONDEUR (m)


21 JUIN
Dev. 10:12
20I 10:12
J 10:30
K 10:45
M 11:15
N
Haute: 04:32
Basse: 11:31
20I
J+K
M
0.25 mille marin
Vitesse
10 cm/s


DRAGAGE CARLETON
DRAGAGE CARLETON

ANNEXE 3

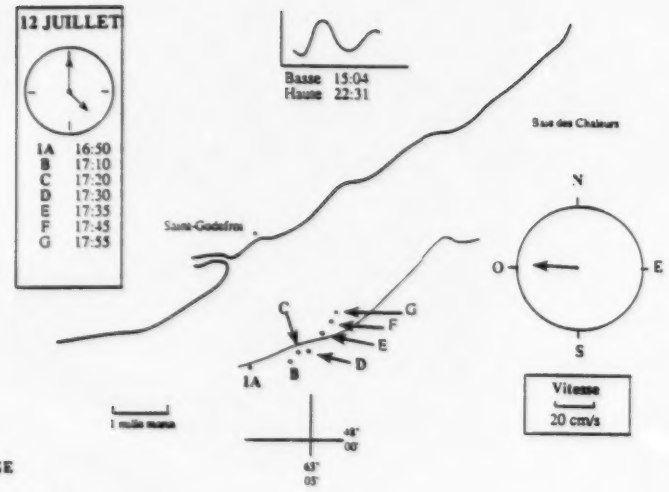
LOCALISATION DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE
À SAINT-GODEFROI ET DESCRIPTION DE LA TRANSPARENCE MESURÉE
AVANT ET PENDANT LES DÉVERSEMENTS.

NOTES EXPLICATIVES

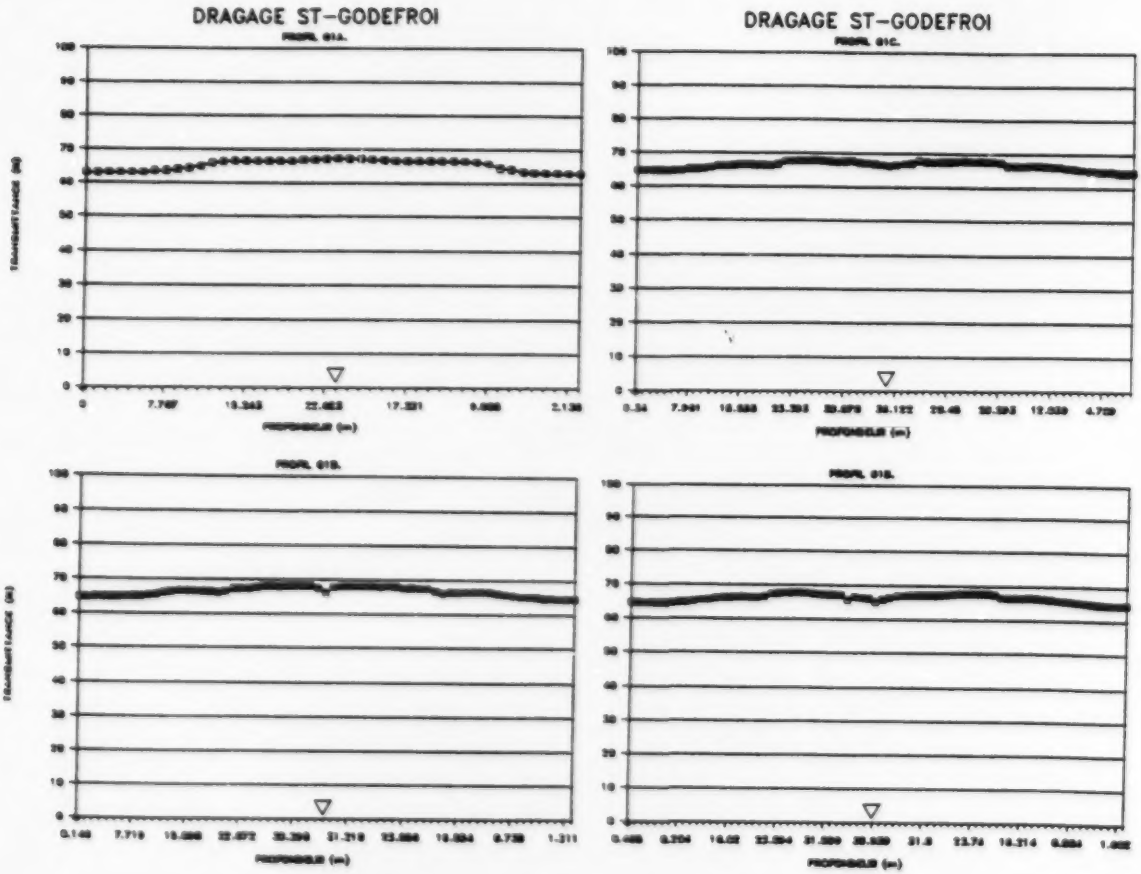
Les profils verticaux effectués avec le STD-Turbidimètre sont présentés sous forme de courbes de la transparence (%) en fonction de la profondeur (m). Le numéro de chaque profil apparaît au-dessus de chaque graphique (G1A, G14B, G21H, etc.). La profondeur inscrite en abscisse correspond à la descente et à la remontée de l'appareil lors des enregistrements. La profondeur maximale atteinte par l'appareil (indiquée par la pointe de flèche) se retrouve donc au centre de l'abscisse et c'est ce qui explique la symétrie des courbes. La fréquence d'échantillonnage du STD a été fixée à 1 m pour tous les profils.

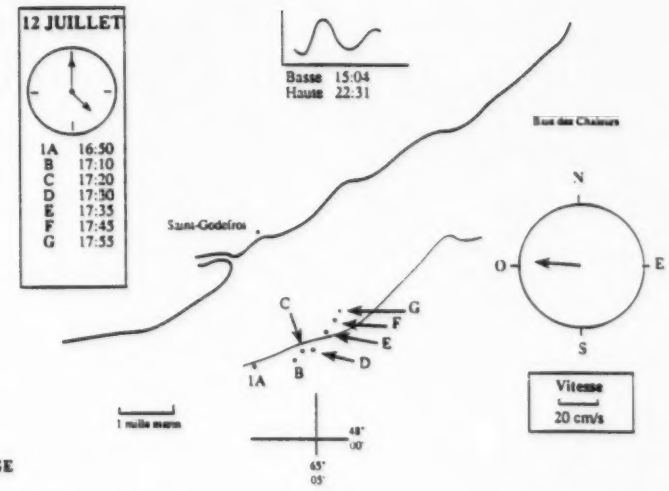
Six profils (4E, 13A, 16E, 17A, 20A, et 22A) ont été retenus pour illustrer la turbidité enregistrée simultanément au déversement. La date et l'heure d'échantillonnage de chacun d'eux sont indiquées. Pour l'examen de la dispersion des sédiments, les profils sont regroupés pour 5 déversements et leur localisation est indiquée sur la carte au-dessus des courbes.

Le site de rejet (◦), les filières flottantes (●) et les repères fixes (·) sont positionnés sur la carte. Le trait apparaissant au large de Saint-Godefroi représente l'isobathe de 20 brasses. La date et l'heure d'échantillonnage (heure avancée de l'est) sont indiquées pour chaque profil dans le rectangle de gauche. Les profils présentés sur chaque page sont inscrits en caractères gras et ceux apparaissant sous le trait pointillé ne sont pas illustrés car la transparence obtenue est semblable à celle avant le dragage. Les profils effectués à moins de 200 m du site de rejet ne sont pas positionnés sur la carte mais leur distance et orientation par rapport au site de rejet sont présentées. L'heure et l'état de la marée sont indiqués au haut de la page et au centre. La vitesse et la direction moyennes des courants sont indiquées dans le cercle de droite. La courantométrie a été mesurée à 18 m pour les profils n° 21 et 22 et à 8,5 m pour tous les autres.



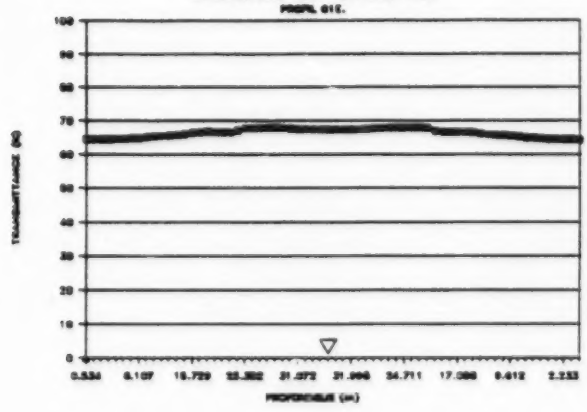
PROFILS PRÉ-DRAGAGE



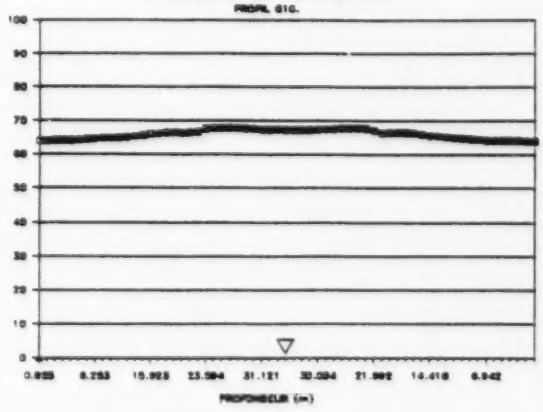


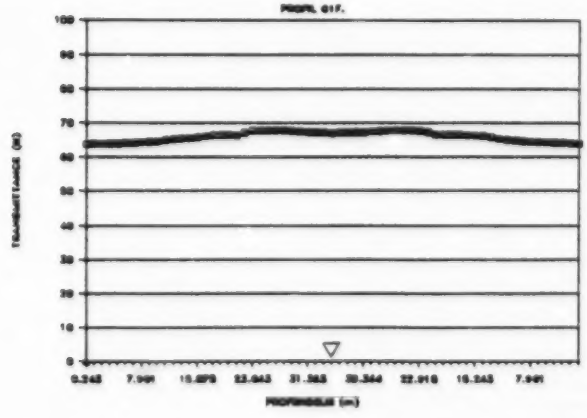
PROFILS PRÉ-DRAGAGE

DRAGAGE ST-GODEFROI

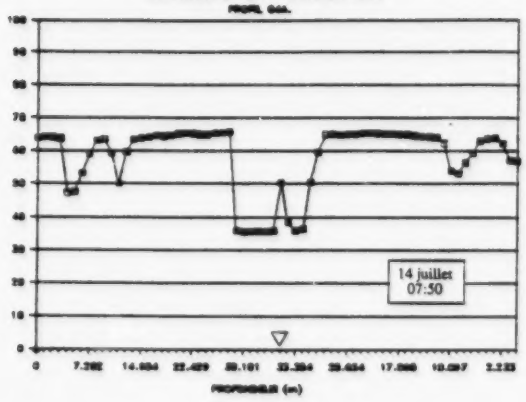


DRAGAGE ST-GODEFROI

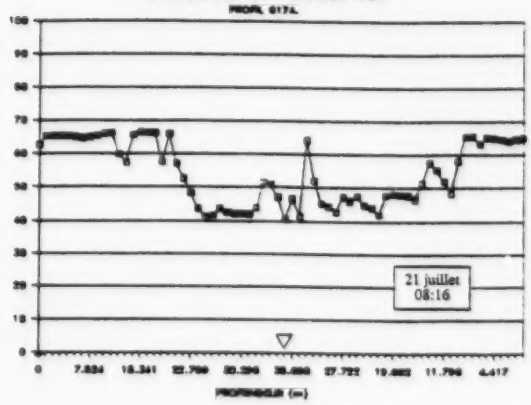


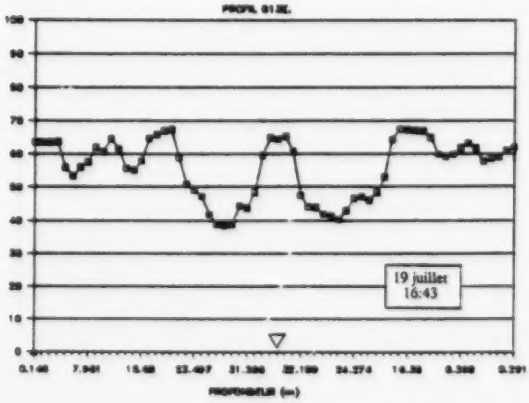


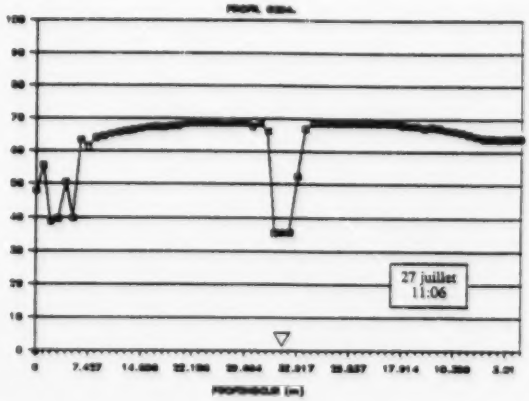
DRAGAGE ST-GODEFROI

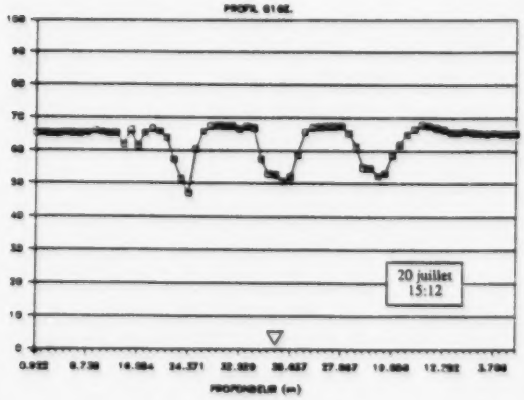


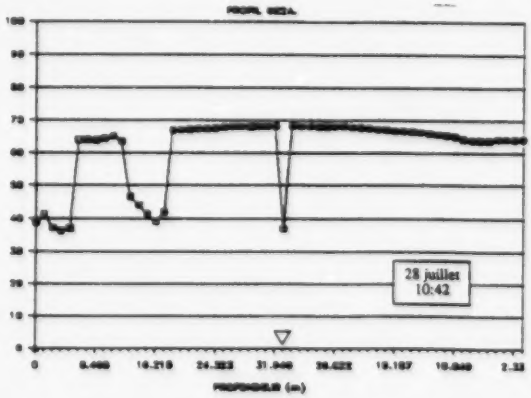
DRAGAGE ST-GODEFROI

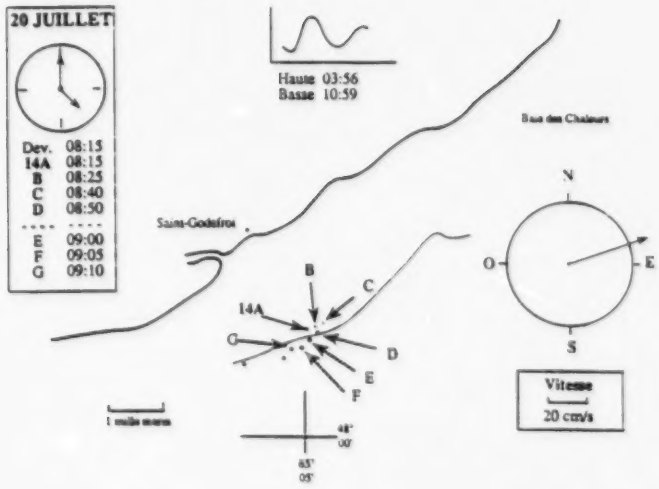


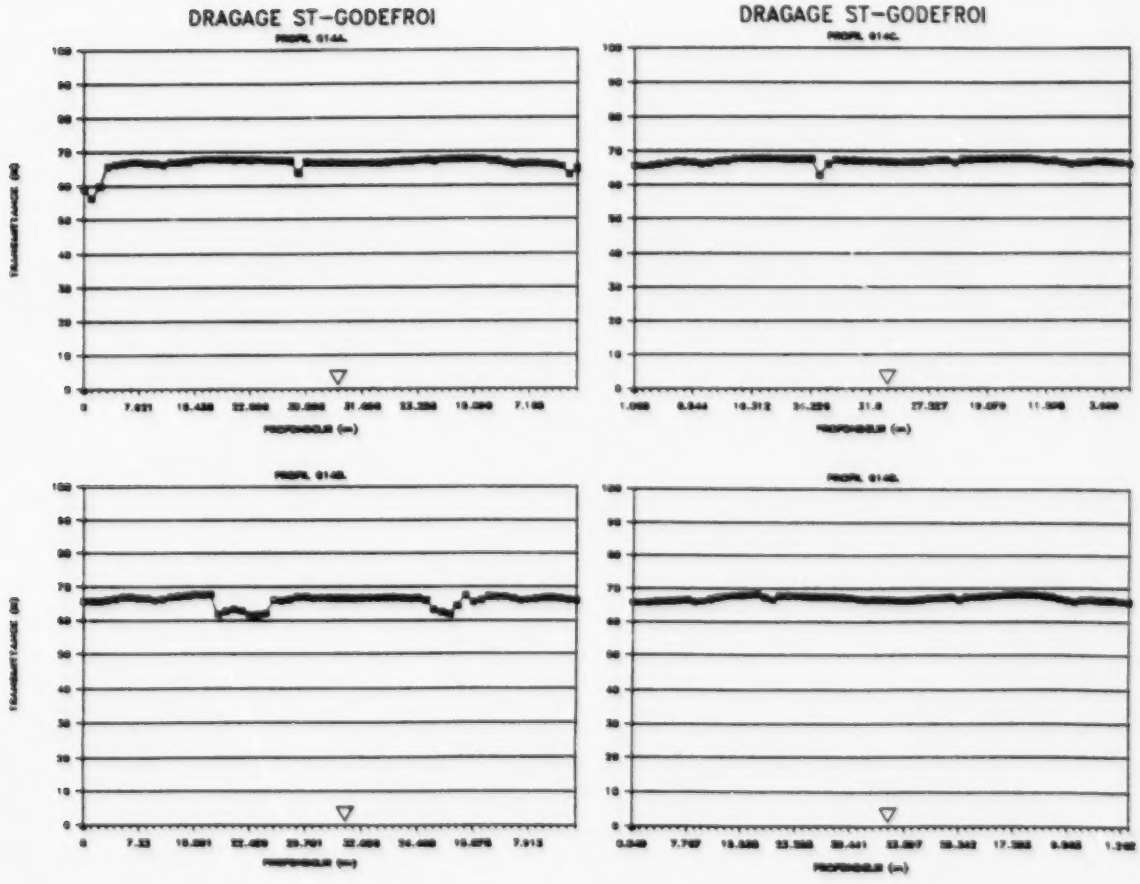


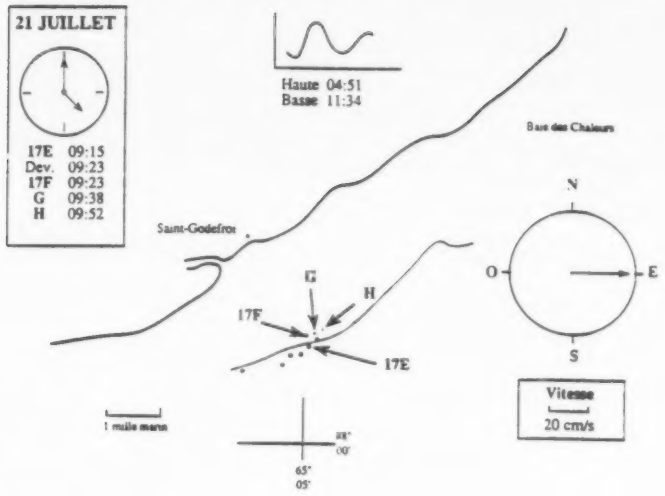


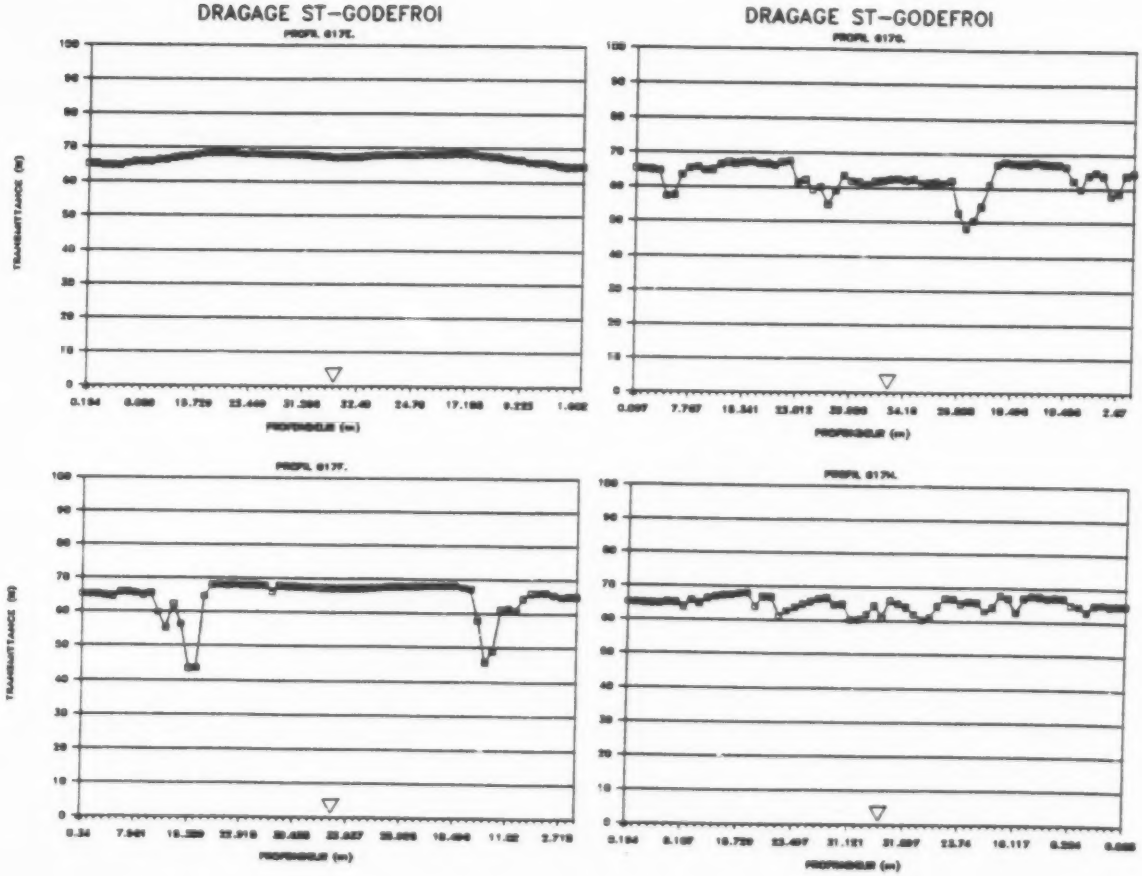


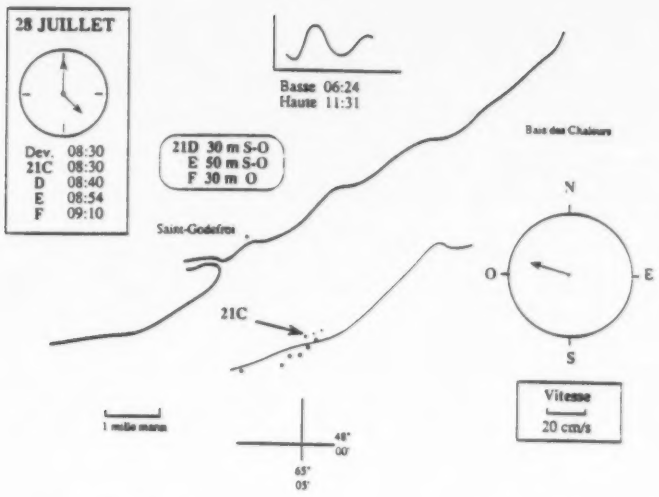


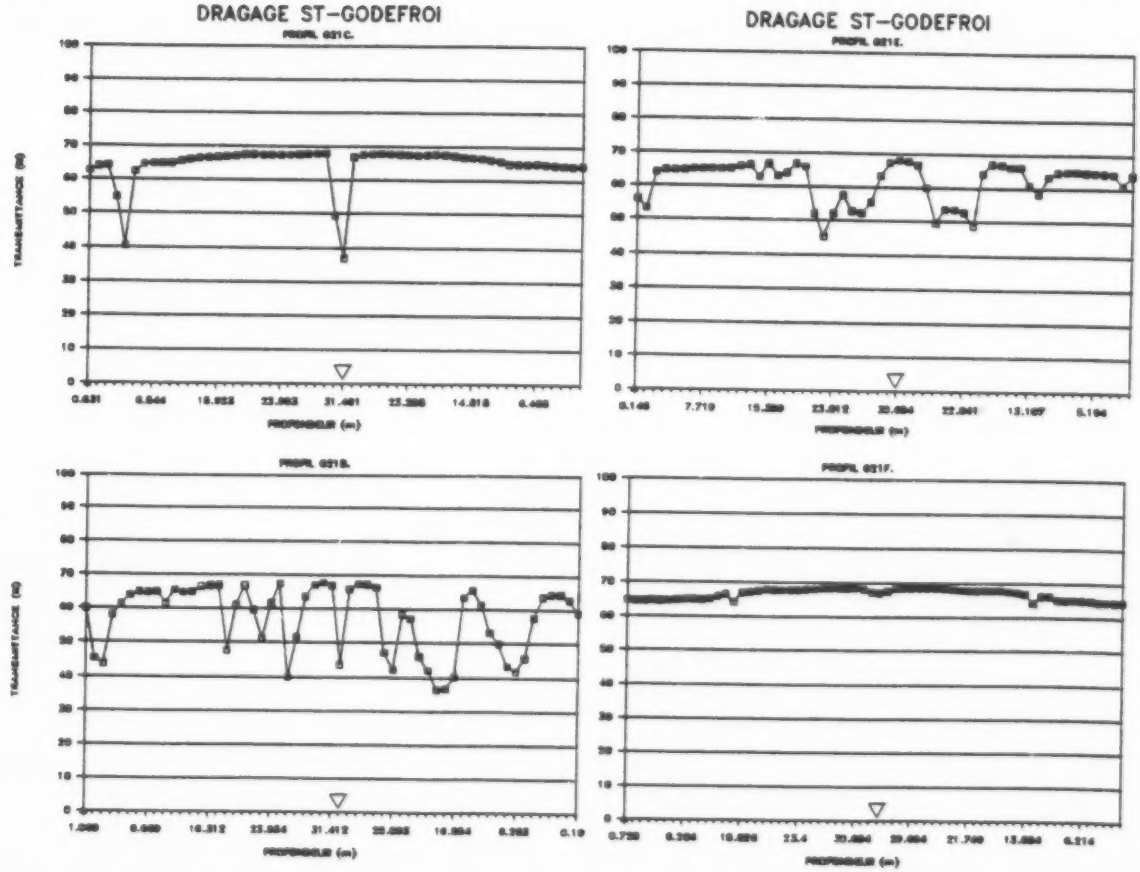

20 JUILLET
Dev. 08:15
14A 08:15
B 08:25
C 08:40
D 08:50
E 09:00
F 09:05
G 09:10
Haute 03:56
Basse 10:59
Baie des Chaleurs
Saint-Godefroi
B
C
14A
G
D
E
F
1 mille marin
48° 00'
65° 05'
N
O
E
S
Vitesse
20 cm/s

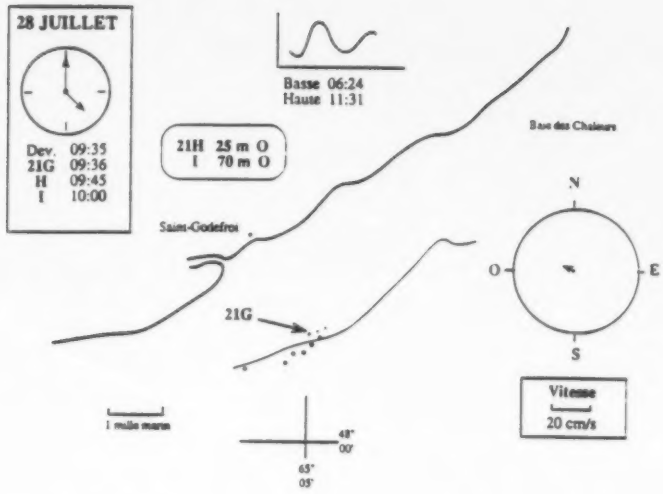

DRAGAGE ST-GODEFROI
DRAGAGE ST-GODEFROI

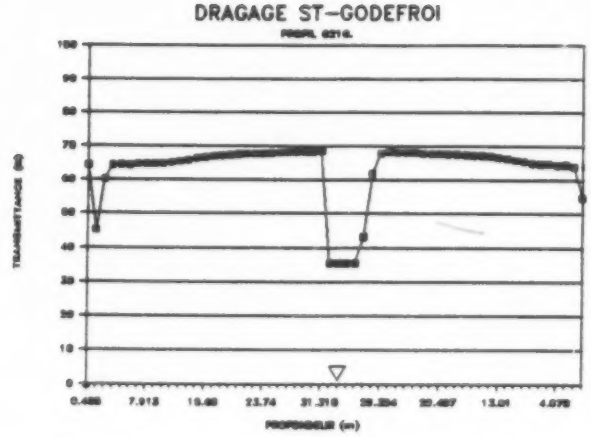

21 JUILLET
17E 09:15
Dev. 09:23
17F 09:23
G 09:38
H 09:52
Haute 04:51
Basse 11:34
Baie des Chaleurs
Saint-Godefroi
G
H
17F
17E
N
O
E
S
Vitesse
20 cm/s
1 mille marin
65°
05'

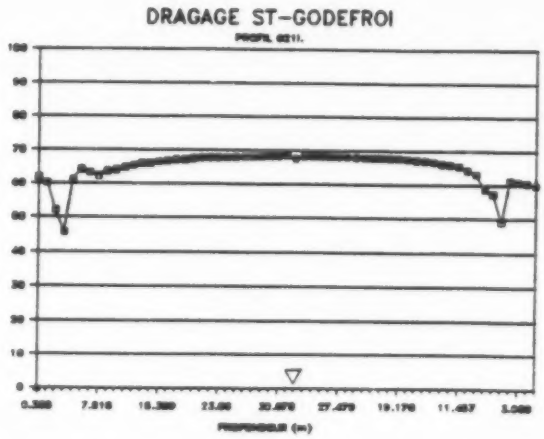

DRAGAGE ST-GODEFROI
DRAGAGE ST-GODEFROI
PROFONDEUR (m)

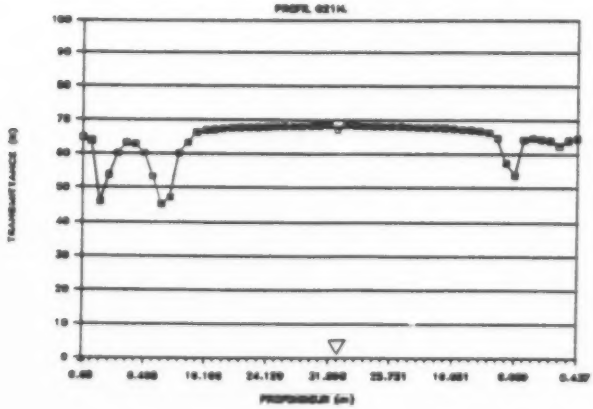

28 JUILLET
Dev. 08:30
21C 08:30
D 08:40
E 08:54
F 09:10
Basse 06:24
Haute 11:31
21D 30 m S-O
E 50 m S-O
F 30 m O
Baie des Chaleurs
Saint-Godefroi
21C
N
O
E
S
Vitesse
20 cm/s
1 mille marin
48° 00'
65° 05'

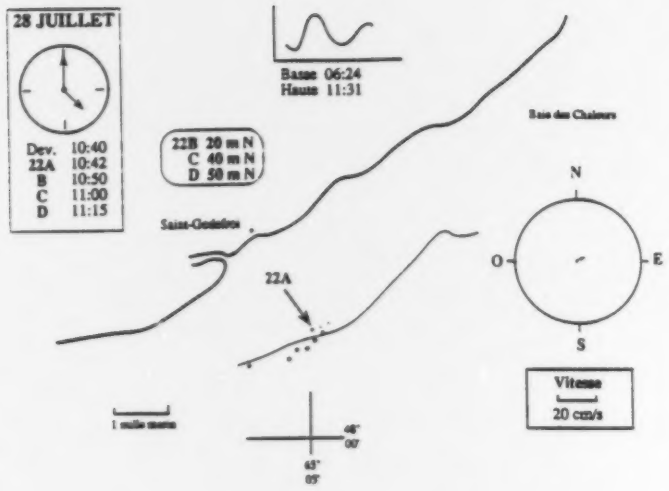

DRAGAGE ST-GODEFROI
DRAGAGE ST-GODEFROI
PROFIL 0218.
PROFIL 0217.
TRANSMITTANCE (%)
PROFONDEUR (m)

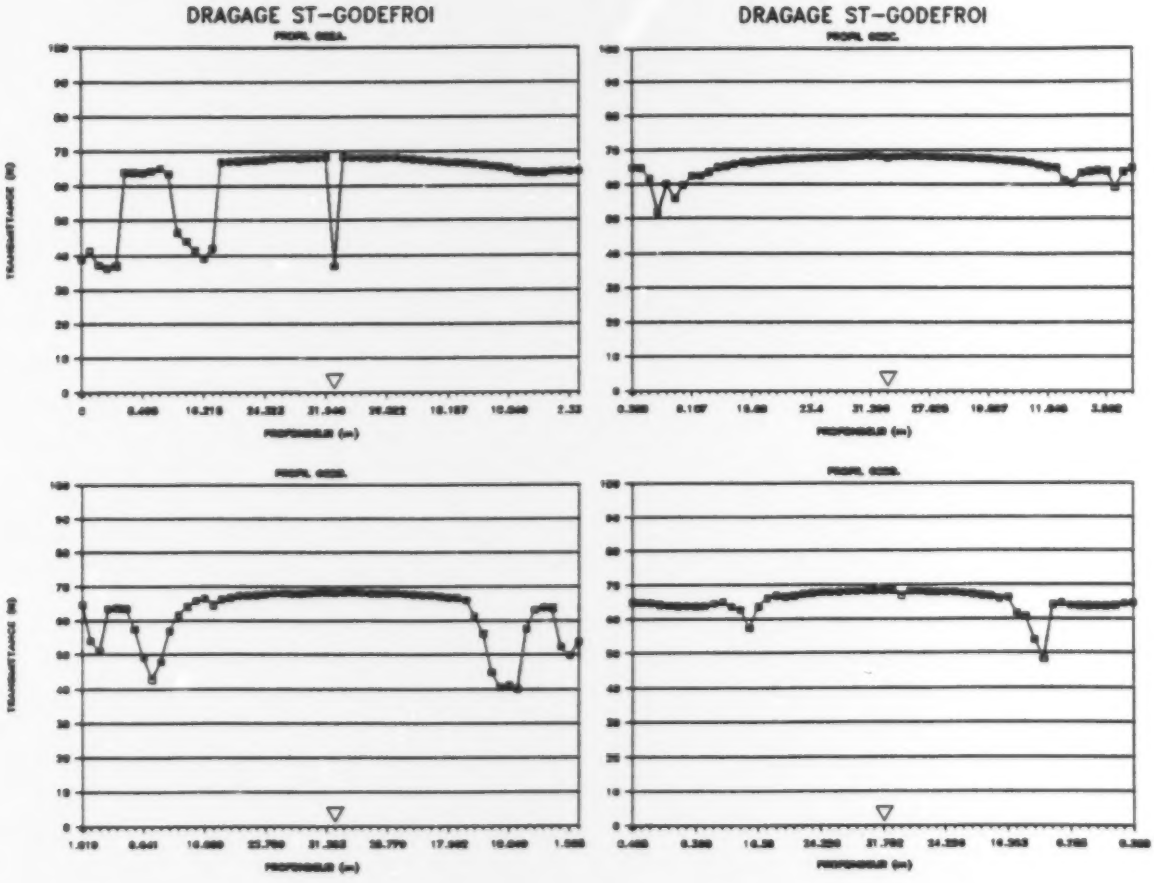

28 JUILLET
Dev. 09:35
21G 09:36
H 09:45
I 10:00
Basse 06:24
Haute 11:31
21H 25 m O
I 70 m O
Baie des Chaleurs
Saint-Godefroi
21G
N
O
E
S
Vitesse
20 cm/s
1 mille marin
48° 00'
65° 05'


DRAGAGE ST-GODEFROI
PROFIL 0211G
TRANSMITTANCE (%)
PROFONDEUR (m)


DRAGAGE ST-GODEFROI
PROFIL 0211.
PROFONDEUR (m)


PROFIL 0211A
TRANSMITTANCE (%)
PROFONDEUR (m)


28 JUILLET
Dev. 10:40
22A 10:42
B 10:50
C 11:00
D 11:15
Basse 06:24
Haute 11:31
22B 20 m N
C 40 m N
D 50 m N
Baie des Chaleurs
Saint-Godefroi
22A
N
O
E
S
Vitesse
20 cm/s
1 mille marin
48° 00'
65° 05'


DRAGAGE ST-GODEFROI
DRAGAGE ST-GODEFROI
TRANSMITTANCE (%)
PROFONDEUR (m)